westermann

DIERCKE

GEOGRAPHIE

12

BAYERN

Erde – physische Übersicht

ASIEN
NORDAMERIKA
EUROPA
AFRIKA
SÜDAMERIKA
AUSTRALIEN
ANTARKTIS
NORD-AMERIKA
Atlantischer Ozean
Pazifischer Ozean
Indischer Ozean
Südpolarmeer
Europäisches Nordmeer
Mittelmeer
Arktischer Ozean
Beringstraße
Beaufortsee
Kanadischer Archipel
Baffin Bay
Grönland
Davisstraße
Barentssee
Karasee
Laptewsee
Ostsibirische See
Beringmeer
Aleuten
Kap Barrow
Kap Farvel
Kap Tscheljuskin
Kap Deschnew
Spitzbergen
Franz-Josef-Land
Nowaja Semlja
Nordkap
Nördlicher Polarkreis
Island
Baffin Insel
Barren Grounds
Hudson Bay
Labrador
Kanadischer Schild
Neufundland
Vancouver
Winnipeg
Missouri
Oberer See
Mississippi
Rocky Mountains (Felsengebirge)
Küstengebirge
Sierra Nevada
San Francisco
Great Plains (Prärien)
Appalachen
New York
New Orleans
Hochland von Mexiko
Golf von Mexiko
Kuba
Mexiko-Stadt
5636
Citlaltépetl
Große Antillen
Karibisches Meer
Mittelamerika
Panama-Stadt
Clipperton-Insel
Galapagos-Inseln
Quito
5897
Gotopaxi
Äquator
Punta Parinas
Amazonas
Amazonasbecken
Belém
São Paulo
Kap Branco
Llanos
Bergland von Guayana
Anden
La Paz
Gran Chaco
Brasilianisches Bergland
Paraná
Pampa
Rio de Janeiro
Buenos Aires
Santiago
Aconcagua
6962
Patagonien
Feuerland
Punta Arenas
Kap Hoorn
Falkland-Inseln (Malwinen)
Südgeorgien
Südsandwich-Inseln
8428
Bouvet-Insel
Osterinsel
Tristan da Cunha
Ascension
St. Helena
Südlicher Wendekreis
Südlicher Polarkreis
Weddellmeer
Mount Vinson
4897
Azoren
Bermuda-Inseln
Sargasso-see
Nördlicher Wendekreis
Kanaren
Madeira
Kapverden
Kap Verde
Lissabon
Casablanca
Atlas
Britische Inseln
Nordsee
Ostsee
Skandinavien
Kola
London
Paris
Berlin
Donau
Alpen
Mont Blanc
4810
Rom
Schwarzes Meer
Kaukasus
Elbrus
5642
Kaspische Senke
Kaspisches Meer
Ladogasee
Wolga
Moskau
Salechard
Ob
Jenissei
Irtysch
Nowosibirsk
Baikalsee
Lena
Werchojansk
Werchojansker Gebirge
Stanowoigebirge
Jablonowygebirge
Amur
Kamtschatka
Ochotskisches Meer
Beringmeer
Aleuten
Japanisches Meer (Ostmeer)
Honshu
Tokio
Peking
Mandschurei
Korea
Ostchinesisches Meer
Südchinesisches Bergland
Guangzhou
Südchinesisches Meer
Philippinen
Marianen
Mikronesien
Karolinen
Melanesien
Borneo
Malaiischer Archipel
Sumatra
Java
Sulawesi
Neuguinea
Salomon-Inseln
Kap York
Darwin
Great Barrier Reef
Korallensee
Neukaledonien
Tasmansee
Neuseeland
Chatham-Inseln
Auckland-Inseln
Tasmanien
Australisches Bergland
Australisches Tiefland
Große Victoriawüste
Große Australische Bucht
Perth
Sydney
Mt. Kosciuszko
2230
Darling
Taimyrhalbinsel
Tarimbecken
Turan
Kaspische Senke
Altai
Gobi
Tian Shan
Hindukusch
Kunlun Shan
Himalaya
Mt. Everest
8848
Hochland von Tibet
Hochland von Iran
Mesopotamien
Arabien
Rotes Meer
Nil
Indus
Thar
Ganges
Delhi
Mumbai
Arabisches Meer
Golf von Bengalen
Andamanen
Nikobaren
Sri Lanka
Kap Komorin
Malediven
Bangkok
Mekong
Indien
Große Arabische Wüste
Sahara
Ahaggar
Tibesti
Niger
Kongobecken
Kinshasa
Kongo
Niederguineaschwelle
Asanteschwelle
Hochland von Äthiopien
Ras Daschan
4533
Kap Guardafui
Mount Kenia
5199
Victoriasee
Kilimandscharo
5895
Daressalam
Golf von Guinea
Monrovia
Kapstadt
Kap der Guten Hoffnung
Namib
Kalahari-becken
Lundaschwelle
Sambesi
Drakensberge
Johannesburg
Sambesi
Sambesi
Sir. v. Mosambik
Madagaskar
Maskarenen
Komoren
Seychellen
Tschagos-Inseln
Kokosinseln
St-Paul
Kerguelen
Amundsen-Scott
Lissabon
Casablanca
Madeira
Kanaren
Kapverden
Kap Verde
Monrovia
Kairo
Nil
Rotes Meer
Ras Daschan
Kap Guardafui
Mount Kenia
Victoriasee
Kilimandscharo
Daressalam
Komoren
Seychellen
Tschagos-Inseln
Malediven
Mumbai
Delhi
Kap Komorin
Sri Lanka
Andamanen
Nikobaren
Bangkok
Mekong
Golf von Bengalen
Arabisches Meer
Indien
Indischer Ozean
Südchinesisches Meer
Philippinen
Marianen
Mikronesien
Karolinen
Melanesien
Neuguinea
Salomon-Inseln
Kap York
Darwin
Great Barrier Reef
Korallensee
Neukaledonien
Tasmansee
Neuseeland
Chatham-Inseln
Auckland-Inseln
Tasmanien
Australisches Bergland
Australisches Tiefland
Große Victoriawüste
Große Australische Bucht
Perth
Sydney
Mt. Kosciuszko
2230
Darling
Borneo
Sumatra
Java
Sulawesi
Malaiischer Archipel
Südchinesisches Bergland
Guangzhou
Honshu
Tokio
Peking
Mandschurei
Japanisches Meer (Ostmeer)
Ochotskisches Meer
Kamtschatka
Amur
Jablonowygebirge
Stanowoigebirge
Werchojansker Gebirge
Werchojansk
Taimyrhalbinsel
Laptewsee
Ostsibirische See
Beringmeer
Aleuten
Kap Deschnew
Beringstraße
Kap Tscheljuskin
Franz-Josef-Land
Spitzbergen
Nowaja Semlja
Barentssee
Karasee
Nordkap
Nördlicher Polarkreis
Island
Grönland
Baffin Bay
Davisstraße
Baffin Insel
Barren Grounds
Hudson Bay
Labrador
Kanadischer Schild
Kanadischer Archipel
Neufundland
Vancouver
Winnipeg
Missouri
Oberer See
Mississippi
Rocky Mountains (Felsengebirge)
Küstengebirge
Sierra Nevada
San Francisco
Great Plains (Prärien)
Appalachen
New York
New Orleans
Hochland von Mexiko
Golf von Mexiko
Kuba
Mexiko-Stadt
5636
Citlaltépetl
Große Antillen
Karibisches Meer
Mittelamerika
Panama-Stadt
Clipperton-Insel
Galapagos-Inseln
Quito
5897
Gotopaxi
Äquator
Punta Parinas
Amazonas
Amazonasbecken
Belém
São Paulo
Kap Branco
Llanos
Bergland von Guayana
Anden
La Paz
Gran Chaco
Brasilianisches Bergland
Paraná
Pampa
Rio de Janeiro
Buenos Aires
Santiago
Aconcagua
6962
Patagonien
Feuerland
Punta Arenas
Kap Hoorn
Falkland-Inseln (Malwinen)
Südgeorgien
Südsandwich-Inseln
8428
Bouvet-Insel
Osterinsel
Tristan da Cunha
Ascension
St. Helena
Südlicher Wendekreis
Südlicher Polarkreis
Weddellmeer
Mount Vinson
4897
Azoren
Bermuda-Inseln
Sargasso-see
Nördlicher Wendekreis
Kanaren
Madeira
Kapverden
Kap Verde
Lissabon
Casablanca
Atlas
Britische Inseln
Nordsee
Ostsee
Skandinavien
Kola
London
Paris
Berlin
Donau
Alpen
Mont Blanc
4810
Rom
Schwarzes Meer
Kaukasus
Elbrus
5642
Kaspische Senke
Kaspisches Meer
Ladogasee
Wolga
Moskau
Salechard
Ob
Jenissei
Irtysch
Nowosibirsk
Baikalsee
Lena
Werchojansk
Werchojansker Gebirge
Stanowoigebirge
Jablonowygebirge
Amur
Kamtschatka
Ochotskisches Meer
Beringmeer
Aleuten
Japanisches Meer (Ostmeer)
Honshu
Tokio
Peking
Mandschurei
Korea
Ostchinesisches Meer
Südchinesisches Bergland
Guangzhou
Südchinesisches Meer
Philippinen
Marianen
Mikronesien
Karolinen
Melanesien
Borneo
Malaiischer Archipel
Sumatra
Java
Sulawesi
Neuguinea
Salomon-Inseln
Kap York
Darwin
Great Barrier Reef
Korallensee
Neukaledonien
Tasmansee
Neuseeland
Chatham-Inseln
Auckland-Inseln
Tasmanien
Australisches Bergland
Australisches Tiefland
Große Victoriawüste
Große Australische Bucht
Perth
Sydney
Mt. Kosciuszko
2230
Darling
Taimyrhalbinsel
Tarimbecken
Turan
Kaspische Senke
Altai
Gobi
Tian Shan
Hindukusch
Kunlun Shan
Himalaya
Mt. Everest
8848
Hochland von Tibet
Hochland von Iran
Mesopotamien
Arabien
Rotes Meer
Nil
Indus
Thar
Ganges
Delhi
Mumbai
Arabisches Meer
Golf von Bengalen
Andamanen
Nikobaren
Sri Lanka
Kap Komorin
Malediven
Bangkok
Mekong
Indien
Große Arabische Wüste
Sahara
Ahaggar
Tibesti
Niger
Kongobecken
Kinshasa
Kongo
Niederguineaschwelle
Asanteschwelle
Hochland von Äthiopien
Ras Daschan
4533
Kap Guardafui
Mount Kenia
5199
Victoriasee
Kilimandscharo
5895
Daressalam
Golf von Guinea
Monrovia
Kapstadt
Kap der Guten Hoffnung
Namib
Kalahari-becken
Lundaschwelle
Sambesi
Drakensberge
Johannesburg
Sambesi
Sambesi
Sir. v. Mosambik
Madagaskar
Maskarenen
Komoren
Seychellen
Tschagos-Inseln
Kokosinseln
St-Paul
Kerguelen
Amundsen-Scott

Landhöhen

- über 1500 m
- 1000–1500 m
- 500–1000 m
- 200– 500 m
- 0– 200 m
- Depression
- Inlandeis

Meerestiefen

- 0– 200 m
- 200–2000 m
- 2000–4000 m
- 4000–6000 m
- 6000–8000 m
- über 8000 m

0 500 1000 1500 2000 2500 km

24191EX_11 © Westermann

westermann

DIERCKE GEOGRAPHIE 12

BAYERN

Autorinnen und Autoren
Dr. Christoph Baumann
Dr. Frank Fischer
Jochen Laske
Peter Link
Dr. Winfried Neumann
Alexandra Stumbaum
Jens Willhardt
Lisa Ziegler
Christina Zukolo

unter Mitwirkung
der Verlagsredaktion

Hinweise zur Arbeit mit dem Buch

Kapiteleinstieg
Der Kapiteleinstieg gibt einen Überblick über die Inhalte im Kapitel.

Arbeitsseiten
Sie stellen Grundwissen dar. Fachbegriffe sind in **Fettdruck** hervorgehoben. Diese werden im GEO Lexikon ab S. 244 erklärt.

GEO Raumbeispiel
Raumbeispiele bieten Gelegenheit zur Anwendung des Gelernten und dienen so der Vertiefung und dem vernetzten Denken in einem konkreten Anwendungsfall.

GEO Klausurtraining
Diese Seiten stehen am Schluss eines Kapitels und sichern das erworbene Wissen in Form von Aufgaben im Klausurstil.

GEO Methode
Auf diesen Seiten sind wichtige geographische Arbeitsmethoden zusammengestellt, die Sie an verschiedenen Stellen im Buch immer wieder benötigen.

E↑
Das Buch ist für das grundlegende und das erhöhte Anforderungsniveau konzipiert. Materialien, Aufgaben oder ganze Seiten für das erhöhte Anforderungsniveau sind mit einem Symbol gekennzeichnet.

Carl Diercke lebte von 1842 bis 1913. Er war Erdkundelehrer und beschäftigte sich mit der Herstellung von Landkarten. 1883 entwickelte er einen Atlas mit einfachen und übersichtlichen Karten: den „Schul-Atlas über alle Teile der Erde“. Er sollte besonders Kinder und Jugendliche ansprechen. Sein Nachfolger ist der Diercke Weltatlas.

Mit Beiträgen von: Peter Armbruster, Jürgen Bauer, Thomas Bauske, Katharina Eckinger, Dieter Engelmann, Rainer Ellmann-Bahr, Manuel Frater, Alexander Gehmlich, Thilo Girndt, Rainer Glawion, Andreas Greis, Sigrun Hallermann, Kevin Hepp, Linda Hertel, Wolfgang Latz, Uwe Meier, Frank Morgeneyer, Lutz Müller, Lydia Rudow, Hartmut Rupprecht, Marianne Schmidt, Anja Schreiner, Prof. Dr. Alexander Siegmund, Regina Skala, Rainer Starke, Dr. Matthias Stober, Dietrich Strohbach, Laura Thurn, Petra Wachter, Silke Weiß

© 2024 Westermann Bildungsmedien Verlag GmbH, Georg-Westermann-Allee 66, 38104 Braunschweig
www.westermann.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen bzw. vertraglich zugestandenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Wir behalten uns die Nutzung unserer Inhalte für Text und Data Mining im Sinne des UrhG ausdrücklich vor.

Die enthaltenen Links verweisen auf digitale Inhalte, die der Verlag bei verlagsseitigen Angeboten in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt. Links auf Angebote Dritter wurden nach dem gleichen Qualitätskriterien wie die verlagsseitigen Angebote ausgewählt und bei Erstellung des Lernmittels sorgfältig geprüft. Für spätere Änderungen der verknüpften Inhalte kann keine Verantwortung übernommen werden.

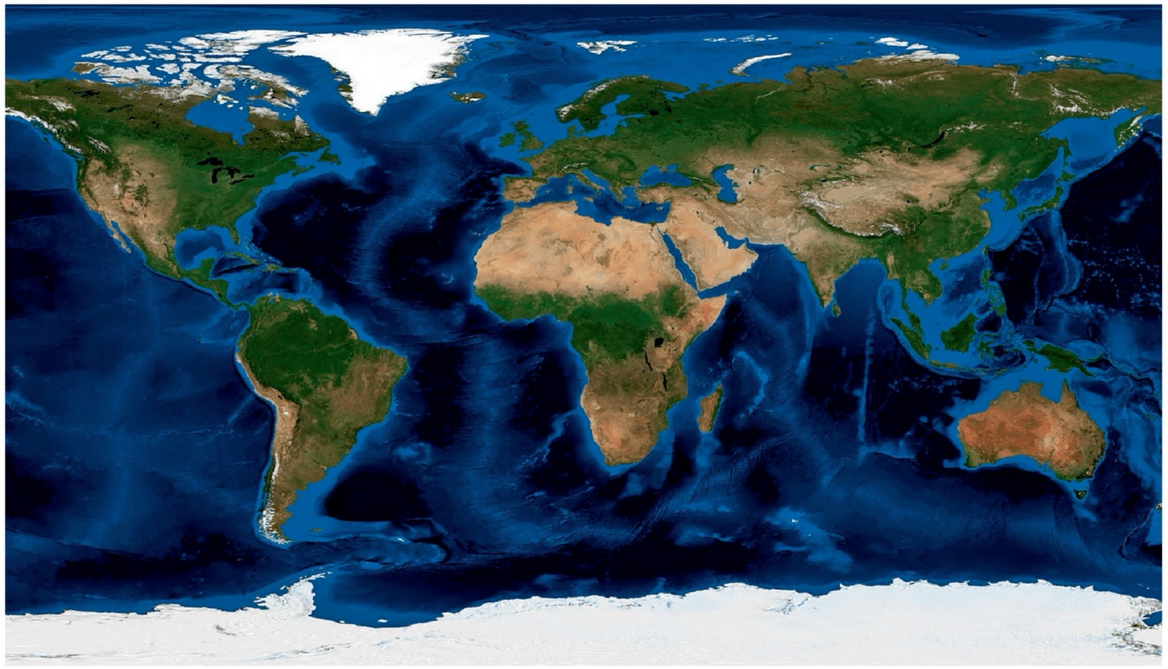
In unseren Diercke-Lehrwerken folgen wir der amtlichen deutschen Rechtschreibung und verwenden die vom Duden präferierte Schreibweise. Schülerinnen und Schüler werden separat angesprochen. Nomen werden genderspezifisch nach den Regeln der deutschen Grammatik behandelt und folgen der Schreibweise in den Dokumenten der deutschen Bundesregierung. Personenbezeichnungen beziehen sich immer auf alle Geschlechter (m, w, d), auch wenn aus Platzgründen nur das generische Maskulinum verwendet wird.

Druck A³ / Jahr 2025
Alle Drucke der Serie A sind inhaltlich unverändert.

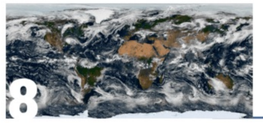
Redaktion: Manfred Eiblmaier
Druck und Bindung: Westermann Druck GmbH, Georg-Westermann-Allee 66, 38104 Braunschweig

ISBN 978-3-14-**151945**-7

M1 Die Erde im Januar



M2 Die Erde im Juli



1 Klima und Klimawandel

10 Sphären der Erde – Wie hängt alles zusammen?
12 Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre – Was umgibt uns?
13 Der Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde – Wie wird unsere Erde warm?
14 Globale Beleuchtungsverhältnisse und Temperatur – Wieso variieren die Temperaturen auf der Erde räumlich und zeitlich?
16 Wind, Wasser und Wolken – Wie lässt sich das Wetter detailliert beschreiben?
18 E↑ Klima- und Vegetationszonen im Überblick – Wie ist die Erde gegliedert?
22 Grundlagen der atmosphärischen Zirkulation
22 Die Passatzirkulation
24 Die planetarische Frontalzone
26 Das Drei-Zellen-Modell
GEO Raumbeispiel 28 Monsunklima – Wieso kann es an einem Ort zu Überschwemmungen und Dürren kommen?
GEO Raumbeispiel 30 E↑ Die Folgen des Monsuns
32 Die ozeanische Zirkulation – Was treibt das marine Förderband an?
34 Der Nordatlantikstrom – Wie funktioniert die Warmwasserheizung Europas?
36 Das ENSO-Phänomen
38 E↑ Exkurs: Die Nordatlantische Oszillation
40 E↑ Natürliche Klimaveränderungen
42 Rezente Klimaveränderungen – Wie beeinflusst der Mensch das Klima?
44 E↑ Ist eine Vorhersage des Klimas möglich? – Klimamodelle
46 Die Folgen des rezenten Klimawandels
48 Herausforderung rezenter Klimawandel – Was sollen wir tun?
50 E↑ Forschungsprojekte zum rezenten Klimawandel
GEO Klausurtraining 52 Klima und Klimawandel

E↑ erhöhtes Anforderungsniveau

2 Tropen – Mensch-Umwelt-Beziehungen zwischen Vulnerabilität und Nachhaltigkeit

56 Vom Äquator zu den Wendekreisen – Geofaktoren und naturräumliche Wechselwirkungen
58 Der tropische Regenwald – Was ermöglicht Artenreichtum und -diversität?
60 Der tropische Regenwald – ein perfektes Zusammenspiel der Geofaktoren
62 Ist die traditionelle Nutzung des tropischen Regenwaldes nachhaltig?
64 Eingriffe in das Ökosystem der Immerfeuchten Tropen
66 Nachhaltige Nutzungsformen – *Ecofarming* und Agroforstwirtschaft
68 Lokale Nutzung des tropischen Regenwalds mit globalen Folgen?
70 Ökosysteme der Wechselfeuchten Tropen
73 Das Ökosystem der Trockenen Tropen
74 Nutzung der Wechselfeuchten Tropen
76 E↑ Genese und Verbreitung von Wüsten
GEO Raumbeispiel 78 E↑ Saudi-Arabien – ökonomisch und ökologisch nachhaltige Nutzung der Wüste?
80 Desertifikation – Menschengemachtes Sahel-Syndrom?
82 Lokale und transnationale Maßnahmen gegen Desertifikation
GEO Raumbeispiel E↑ Geopolitische Konfliktpotenziale –
84 Beispiel Wasserkonflikt zwischen Ägypten und Äthiopien
86 Textilkauf mit Folgen?
GEO Klausurtraining 88 Wirtschaftliche Nutzung statt Regenwald – Auswirkungen des Ölpalmanbaus

3 Subpolare und Polare Zone – Klimaforschung und Geopolitik

92 Am Rand des Lebens: Klima und Vegetation in der Polaren und Subpolaren Zone
94 Gefroren seit über 12000 Jahren – Welche Bedeutung hat der Permafrostboden?
96 Rohstoffe um jeden Preis? – Chancen und Probleme der Rohstoffgewinnung
98 E↑ Zerstört die Menschheit ihre Lebensgrundlage? – Fischfang und Überfischung in Arktis und Antarktis
100 E↑ Der Schatz liegt im Eis – Klimaforschung in Arktis und Antarktis
102 E↑ Irgendwann gibt es kein Zurück mehr – Kippelemente im Klimasystem
GEO Raumbeispiel 104 E↑ Soll Grönland auf den rezenten Klimawandel hoffen? – Veränderungen und Hoffnungen im arktischen Raum
106 Die Zukunft ist ungewiss – Auswirkungen des rezenten Klimawandels in der Polaren und der Subpolaren Zone
108 Ein Kontinent im Besitz der ganzen Menschheit? – Möglichkeiten zum Schutz der Antarktis
110 Wettrennen um Macht und Rohstoffe – politische und wirtschaftliche Ansprüche in der Arktis
112 Ist die Antarktis nachhaltig nutzbar? – Aktuelle Entwicklungsperspektiven
GEO Klausurtraining 114 Die Polare und Subpolare Zone

116 Mittlere Breiten und Subtropen – Ressourcenkonflikte und Ressourcenmanagement 4

118 Klima und Vegetation der Mittleren Breiten
120 E↑ Das Wettergeschehen in den Mittleren Breiten
122 E↑ Großwetterlagen und Wetterkarten
124 Klima und Vegetation der Subtropen
126 Überwindung der Trockenheit durch Bewässerung
GEO Raumbeispiel 128 Wachstum trotz Sommertrockenheit – Beispiel Argolis in Griechenland
130 E↑ Wasser – Lebensspender und Risikofaktor
GEO Raumbeispiel 132 Mallorcas Wasserversorgung – im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft, Tourismus und rezentem Klimawandel
134 E↑ Virtuelles Wasser und Wasserfußabdruck
136 E↑ Trinkwasserversorgung und Trinkwasserschutz in Deutschland
GEO Raumbeispiel 138 Hochwasser im Ahrtal – vom Naturereignis zur Naturkatastrophe
140 Risikomanagement als Hochwasserschutz
142 Wälder der Mittleren Breiten – Nutzung und Funktionen
144 Wälder im Wandel
146 E↑ Konkurrenz um Fläche – Beispiel Ausbau erneuerbarer Energien
148 E↑ Böden in der Heimatregion
150 E↑ Die Rolle der Landwirtschaft im rezenten Klimawandel
GEO Klausurtraining 152 Mittlere Breiten und Subtropen in Europa

154 Hochgebirgsräume – Nutzung und Vulnerabilität 5

156 Die Theorie der Kontinentalverschiebung nach Alfred Wegener
158 Die Theorie der Plattentektonik
160 Gebirgsbildung – die Entstehung der höchsten Punkte der Welt
162 Exogene Kräfte formen Gebirge
164 Das Ökosystem der Hochgebirge
166 Achtung, alpine Gefahren!
168 Ist ein Schutz vor alpinen Gefahren möglich?
GEO Raumbeispiel 170 Drohende Gefahr vom Hochvogel?
172 E↑ Gletscher und Permafrostgebiete in Zeiten des rezenten Klimawandels
174 E↑ Weshalb verklagt ein peruanischer Bergbauer einen deutschen Konzern?
176 Über alle Berge – Transitraum Alpen
GEO Raumbeispiel 178 E↑ Der Brenner-Basistunnel – ein Bauprojekt der Superlative
180 Touristische Nutzung in Hochgebirgsräumen: Ischgl – mehr als ein Skigebiet
182 Skitourismus in Georgien
184 E↑ Nachhaltige Nutzungsformen und Schutzmöglichkeiten
GEO Klausurtraining 188 Hochgebirgsräume

190 Naturkatastrophen – Gefährdungspotenzial und Risikomanagement 6

192 Naturkatastrophen im Fokus der Risikoforschung
194 Naturgefahr Erdbeben
GEO Raumbeispiel 196 Tokio – Leben mit der Erdbebengefahr
198 E↑ Tsunamis – küstennahe Flutwellen
200 E↑ Vulkanismus – Nutzen und Risiken
GEO Raumbeispiel 202 E↑ Phlegräische Felder – ein Supervulkan
204 E↑ Tropische Wirbelstürme
GEO Raumbeispiel 206 E↑ Madagaskar – in der Zugbahn von Zyklonen
GEO Klausurtraining 208 Island – größte Vulkaninsel der Welt

Anhang

GEO Methode 210 Wie denken und arbeiten Geographinnen und Geographen?
GEO Methode 212 Komplexe geographische Fragestellungen lösen
GEO Methode 214 Komplexe Karten interpretieren
GEO Methode 216 Diagramme und Tabellen interpretieren und erstellen
GEO Methode 218 E↑ Bodenprofile interpretieren
GEO Methode 220 Bilder interpretieren
GEO Methode 221 Satellitenbilder interpretieren
GEO Methode 222 Klimadiagramme interpretieren
GEO Methode 224 Thermoisoplethendiagramme interpretieren
GEO Methode 225 Komplexe Zusammenhänge analysieren und E↑ graphisch darstellen
GEO Methode 226 Strukturdaten und Statistiken interpretieren
GEO Methode 227 E↑ Mit Geographischen Informationssystemen (GIS) arbeiten
GEO Methode 228 Geographische Informationen recherchieren
GEO Methode 229 E↑ Kausalprofile erstellen
GEO Methode 230 Blockbilder auswerten und E↑ erstellen
GEO Methode 231 Modelle interpretieren und E↑ erstellen
GEO Methode 232 Mit dem Modell des Syndromkonzepts arbeiten
GEO Methode 234 Karikaturen auswerten
GEO Methode 235 Eine Diskussion führen
GEO Methode 236 E↑ Experimente durchführen und Hypothesen entwickeln
GEO Methode 238 Eine Präsentation gestalten und vortragen
GEO Methode 240 Ethische Fragestellungen formulieren
GEO Methode 241 Eine Exkursion planen und durchführen
GEO Methode 242 Eine Klausur vorbereiten und schreiben
243 Die wichtigsten Arbeitsaufträge (Operatoren)
GEO Lexikon 244 Geo-Lexikon
254 Quellenverzeichnis (Literatur)
256 Quellenverzeichnis (Bild)

M1 La Pointe du Château – eine Halbinsel in Frankreich

Sphären der Erde – Wie hängt alles zusammen?

Die Geographie ist ein besonderes Fach, weil sie sich wie keine zweite Disziplin auf die Zusammenhänge zwischen naturbezogenen und anthropogenen Prozessen auf unserem Planeten konzentriert. In ihrer umfassenden natur- und sozialwissenschaftlichen Perspektive hilft uns die Geographie, unsere Erde in ihren Zusammenhängen zu verstehen.

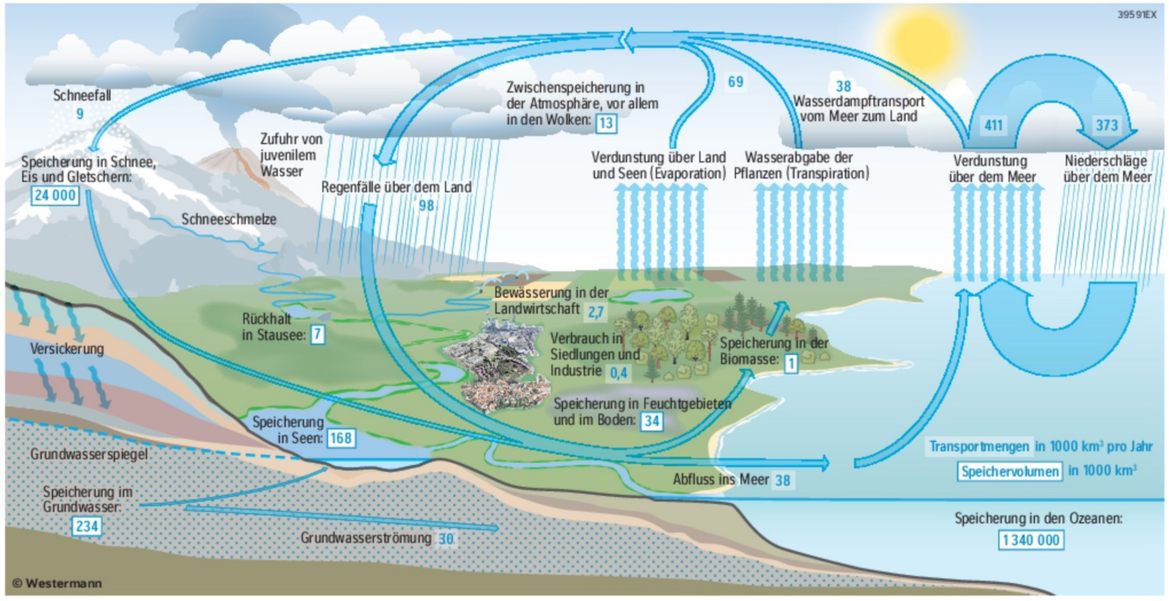
AUFGABEN

1. a) Beschreiben Sie das Bild M1 und unterscheiden Sie dabei verschiedene Bildelemente (▸ S. 220).
   b) Ordnen Sie die Bildelemente aus M1 den Sphären der Erde (Text) zu.
2. Gestalten Sie eine Tabelle zu den Sphären der Erde nach dem folgenden Muster:

Sphäre	Geofaktor	Wissenschaft	Mögliche Messgrößen
Hydrosphäre	Wasser	Hydrologie	Temperatur, ph-Wert, Strömungsgeschwindigkeit, Tiefe
...	...	...	...

3. Erklären Sie den globalen Wasserkreislauf und stellen Sie Zusammenhänge zwischen der Hydrosphäre und anderen Sphären dar (M2).
4. Erläutern Sie die Wechselwirkungen der Anthroposphäre zu anderen Sphären (M3).
5. Stellen Sie sich vor, die Erde wäre ab morgen menschenleer. Was würde passieren? Entwerfen Sie ein kurz- (Wochen), mittel- (Jahre) und langfristiges (Jahrhunderte und -tausende) Szenario.

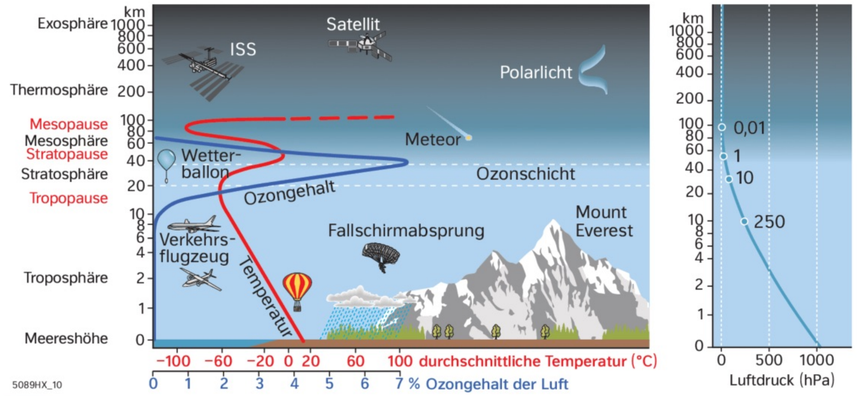
Das Aussehen unserer Erde ist ein Resultat von **Geofaktoren**. Unser Planet wird durch geologische Prozesse (z. B. Gebirgsentstehung) maßgeblich geprägt und ebenso sind Vorgänge im Relief oder die Bildung und Umwandlung von Böden von Bedeutung. Eine große Rolle spielen auch das Wasser, das Klima sowie die organischen Geofaktoren wie Pflanzen oder Tiere.
Ausgehend von dem jeweils prägenden Geofaktor lassen sich verschiedene Teilsysteme der Erde unterscheiden, die **Geosphären**. Diese stehen auch im Zentrum einer bestimmten geographischen Teil- oder Nachbardisziplin. In der Geologie geht es unter anderem um die **Lithosphäre** und damit um die Erdkruste und den festen Teil des Erdmantels. Alle festen Oberflächenformen der Erde werden zur **Reliefsphäre** gezählt und im Bereich der Geomorphologie erforscht. Die Bodengeographie analysiert die **Pedosphäre** und damit die Gesamtheit aller Böden. Die Wasserhülle der Erde bezeichnet man als **Hydrosphäre**. Sie ist Gegenstand der Hydrologie. Vereinzelt wird von der Hydro- nochmals die **Kryosphäre** unterschieden, die das feste Wasser auf einem Planeten, und somit Schnee und Eis umfasst. Die Klimatologie oder Klimageographie sowie die Meteorologie beschäftigen sich mit der **Atmosphäre**, also mit der Lufthülle um die Erde. In der Biogeographie geht es um den belebten Teil des Planeten, um die **Biosphäre**. Der Mensch wird aufgrund seines großen Einflusses auf die Erde in einer eigenen Sphäre angesiedelt. Während die genannten Geofaktoren vor allem Themen der physischen Geographie sind, ist die **Anthroposphäre** Gegenstand der Human- bzw. Anthropogeographie und ihrer Teilgebiete (z. B. Bevölkerungs- oder Stadtgeographie).
Die einzelnen Sphären dürfen nicht als voneinander völlig unabhängige Systeme betrachtet werden. Sie sind jeweils in komplexer Weise miteinander verbunden. Deutlich wird dies bei der Hydrosphäre, zu der all das in gasförmiger, flüssiger und fester Form vorkommende Wasser unserer Erde gehört (M2).
Von besonderem Interesse sind vor allem die als **Mensch-Umwelt-Beziehungen** bezeichneten Wechselwirkungen von Menschen zur (nicht-menschlichen) Natur, zumal der Einfluss des Menschen auf unseren Planeten immer größer wird. Dies geht so weit, dass einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verstärkt von einem neuen erdgeschichtlichen Zeitalter, dem **Anthropozän**, sprechen. Dieses lasse sich seit Mitte des 20. Jahrhunderts erkennen, unter anderem am Ansteigen der Treibhausgase, aber auch an der zunehmenden Produktion von Beton, Plastik und radioaktiv belastetem Material.



M2 Globaler Wasserkreislauf

M3 Aspekte der Anthroposphäre

M1 Ausrüstung für den Rekordfallschirmsprung (2012)



M2 Der Aufbau der Atmosphäre

Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre – Was umgibt uns?

Die Atmosphäre ermöglicht in ihrem besonderen Aufbau und ihrer speziellen Zusammensetzung erst das Leben auf unserem Planeten. Was ist so besonders an dieser Sphäre, die uns umgibt?

Die Atmosphäre bezeichnet die größtenteils unsichtbare Gashülle der Erde, die durch Schwerkraft an diese gebunden ist. Sie ist vertikal in verschiedene Schichten gegliedert (M2), wobei die Temperatur ein entscheidendes Abgrenzungskriterium darstellt. Die **Troposphäre**, zum Teil auch „Wettersphäre" genannt, ist für uns eine bedeutende Schicht, da sich in dieser die wesentlichen Wettervorgänge abspielen. In der **Stratosphäre** ist die Konzentration des Spurengases Ozon (O_3) erhöht, sodass man von einer **Ozonschicht** sprechen kann, welche der Erde als ein Schutzschild vor zu intensiven ultravioletten Strahlungen dient. In der **Mesosphäre** und schließlich **Thermosphäre** nimmt der Luftdruck immer weiter ab. Die **Exosphäre** markiert den Übergang zum Weltall und wird diesem bereits zugerechnet.

Den größten Teil der Atmosphäre macht ein Gasgemisch aus Stickstoff, Sauerstoff und Argon aus (M3). Hinzu kommen Spurengase, z. B. Kohlenstoffdioxid (CO_2) oder Methan (CH_4), sowie Aerosole, also verschiedene flüssige oder feste Schwebeteilchen natürlichen (z. B. Pollen) oder anthropogenen (z. B. Ruß) Ursprungs. Spurengase und Aerosole stellen zwar nur einen sehr kleinen prozentualen Anteil der Atmosphäre dar, ihre zunehmende Konzentration kann aber massive Auswirkungen auf das ganze System Erde haben (▸ S. 42/43). Die Konzentration von Wasserdampf bzw. Hydrometeoren (feste und flüssige Wasserteilchen) variiert je nach Region und Wetterlage zwischen 0 und 4 Prozent.

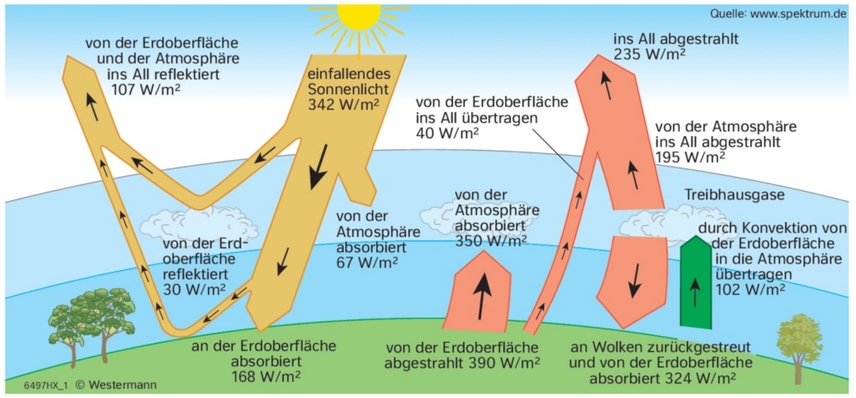
Gas	Volumenanteil
Stickstoff (N_2)	78,08 %
Sauerstoff (O_2)	20,95 %
Argon (Ar)	0,93 %
Wichtige Spurengase	0,04 %
Kohlenstoffdioxid (CO_2) (Tendenz steigend)	419 ppm
Neon (Ne)	18 ppm
Helium (He)	5 ppm
Methan (CH_4) (Tendenz steigend)	1,9 ppm

Quelle: Umweltbundesamt 2023

M3 Volumenanteil wichtiger Gase der (trockenen) Atmosphäre

AUFGABEN

1. Im Jahr 2012 unternahm ein österreichischer Extremsportler einen sehr vorbereitungsintensiven Fallschirmsprung aus knapp 40 km Höhe. Nennen Sie verschiedene Bedingungen, auf die bei einem solchen Rekord geachtet werden müssen (M1, M2).
2. Fassen Sie tabellarisch die wesentlichen Kennzahlen und Bedeutungen der verschiedenen Atmosphäreschichten zusammen (Text, M2).
3. Erklären Sie, warum bestimmte Leistungssportlerinnen und -sportler im Hochgebirge trainieren und zeigen sie damit verbundene Risiken auf.
4. Stellen Sie den Anteil wichtiger Gase der Atmosphäre in einer geeigneten Graphik dar (Text, M3).



M4 Der Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde

Oberflächenbedeckung / Material	Albedo im Bereich der solaren Strahlung
Neuschnee	95 %
Wolken	37 – 77 %
Dünensand	30 – 60 %
Gletscher	20 – 40 %
Ackerkulturen	15 – 25 %
Laubwald	15 – 20 %
Nadelwald	5 – 12 %
Asphalt	5 – 20 %

M5 Albedowerte (Auswahl)

Der Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde – Wie wird unsere Erde warm?

Die Sonne ist etwa 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Ihre enorme Energie mit einer Oberflächentemperatur von ca. 5800 °C sorgt für Licht und Wärme auf unserem Planeten. Ohne unsere Erdatmosphäre wäre es allerdings global durchschnittlich um ungefähr 32 °C kälter.

Die Sonnenenergie erreicht die Erdatmosphäre in Form von kurzwelliger Lichtstrahlung. Der Energiebetrag bleibt dabei annähernd konstant und wird als **Solarkonstante** bezeichnet. Die Sonnenstrahlung wird von der Atmosphäre und schließlich der Erdoberfläche in verschiedener Weise beeinflusst. Die beiden wesentlichen Prozesse sind dabei die Absorption und die Reflexion (M4). **Absorption** bedeutet das Aufnehmen der Strahlung in einem Stoff, z. B. in Ozonteilchen, Aerosolen, Wolken oder Bereichen der Erdoberfläche. **Reflexion** meint dagegen das gerichtete oder diffuse Zurückwerfen der Strahlungswellen an einer entsprechenden Reflexionsfläche. Nur etwas über die Hälfte der **Globalstrahlung** wird von der Erde absorbiert und in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Wie viel kurzwellige in langwellige Strahlung an einem Ort konkret umgewandelt wird, hängt von der Oberfläche ab. Während helle Flächen viel reflektieren, absorbieren dunkle Flächen deutlich mehr. Das Maß für dieses Rückstrahlvermögen wird **Albedo** genannt (M5, M6).

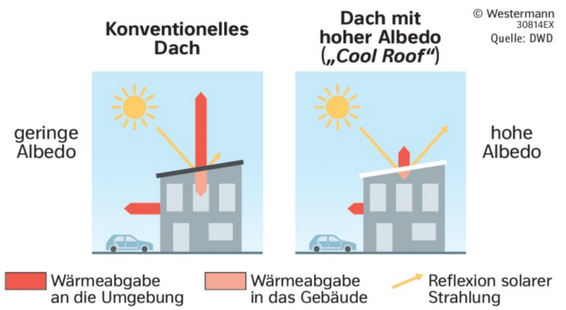
Gesteigert wird die Wärmeentwicklung auf der Erde durch klimarelevante Gase wie Kohlenstoffdioxid (CO_2) oder Methan (CH_4) welche die ausgestrahlte Wärmestrahlung größtenteils absorbieren und so dafür sorgen, dass weniger davon ins Weltall zurückgestrahlt wird. Durch diesen **natürlichen Treibhauseffekt** steigen die Temperaturen (▸ S. 40/41). Dies erklärt die durchschnittlich gemessene globale Temperatur von ca. 14 °C statt der theoretisch berechneten Gleichgewichtstemperatur ohne Atmosphäre von – 18 °C.

AUFGABEN

1. Bei klarem Himmel ist es nachts häufig kälter als bei Bewölkung. Begründen Sie diesen Sachverhalt.
2. Erklären Sie den Strahlungshaushalt der Erde (M4).
3. Schreiben Sie einen eigenen Text zum natürlichen Treibhauseffekt für a) die Schülerzeitung oder b) ein Fachmagazin (M4, Text).

E1 4. Führen Sie ein Experiment zur Albedo durch (▸ S. 236: M1).

5. Im Zuge des Klimaschutzes wird diskutiert, Dächer weiß zu streichen (M6). Halten Sie eine verpflichtende Einführung von weißgestrichenen Dächern für sinnvoll? Nehmen Sie Stellung und diskutieren Sie dabei auch alternative Maßnahmen.
6. Stellen Sie Konsequenzen der abtauenden Gletscher für den Strahlungshaushalt der Erde dar (M4 – M6).



M6 Dachfarbe und Albedo

M 1 Tromsø

M 2 Mahé

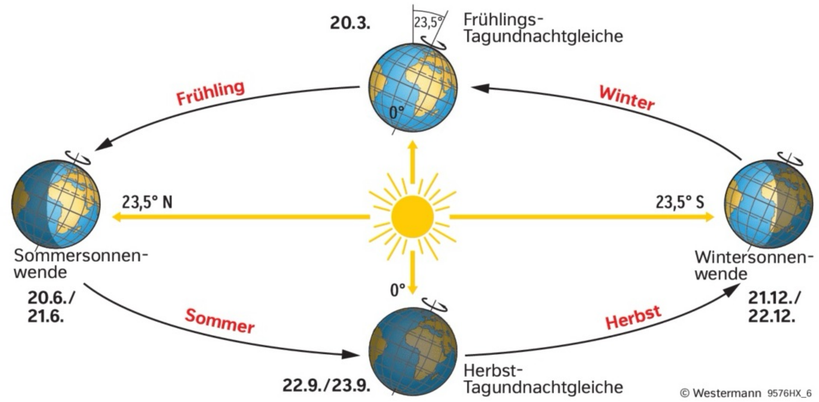
AUFGABEN

1. Beschreiben Sie die Bilder M1 und M2. Stellen Sie Vermutungen an, wann (Jahreszeit, Uhrzeit) und wo die Bilder aufgenommen wurden (Atlas, ▸S. 220).
2. Beschreiben Sie die Erdrevolution im Jahresverlauf und erklären Sie deren Bedeutung für den Strahlungshaushalt (M3).
3. Benennen Sie die Grenzen der Beleuchtungszonen und erläutern Sie diese (M3, M4).
4. Erklären Sie, weshalb die Polarzonen durch Energiedefizite geprägt sind, die Tropenzone dagegen durch Energieüberschuss (M4, M6).
5. Werten Sie die Diagramme (M5) aus und ordnen Sie diesen begründet eine Beleuchtungszone (M4) zu (▸S. 224).
6. Tromsø oder Mahé – Wo würden Sie lieber ein Jahr verbringen? Begründen Sie Ihre Entscheidung (M1–M6, Text).

Globale Beleuchtungsverhältnisse und Temperatur – Wieso variieren die Temperaturen auf der Erde räumlich und zeitlich?

Die solare Strahlung prägt den Energiehaushalt und somit die Temperaturen unseres Planeten. Aufgrund der Kugelgestalt und den Drehbewegungen der Erde variieren die Temperaturen zeitlich und örtlich.

Es gibt zwei wesentliche Bewegungen der Erde: Die **Rotation** ist das Drehen des Himmelskörpers um die eigene Achse in knapp 24 Stunden, die **Revolution** bezieht sich auf den jährlichen Umlauf des Planeten um die Sonne (M3). Aufgrund der Kugelform sowie der Schiefstellung der Erdachse um ca. 23,5° (Schiefe der **Ekliptik**) ändert sich der Einfallswinkel der Sonne während des Jahresverlaufes je nach geographischer Breite. Auf der Basis der Sonnenstrahlung lassen sich schematisch drei **Beleuchtungszonen** unterscheiden: **Tropenzone**, **Polarzone** und der Zwischenbereich der **Mittelbreiten**.
Im Bereich des Äquators ist die Strahlung relativ gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt und hoch. Die solaren Strahlen kommen in einem steilen Einfallswinkel auf die Erde und erwärmen – im Vergleich zu den Polen – eine geringere Fläche mit der gleichen Energiemenge. Entsprechend sind tropische Regionen grundsätzlich wärmer als äquatorferne Gebiete.
Die beiden Polgebiete haben dagegen eine große Varianz zwischen erhöhter Einstrahlung im Sommer (während des **Polartags**) und kaum Einstrahlung im Winter (während der **Polarnacht**). Aufgrund des flachen Einfallswinkels ist es deutlich kühler als in den Tropen.
In Bezug auf die Energiezufuhr der Erde stellen die Mittelbreiten jene Zone dar, in der es zu Prozessen des Energieaustausches zwischen den Tropen und Polargebieten kommt. Dies geschieht vor allem durch Luftmassen- (atmosphärische Zirkulation, ▸S. 22–27) und Meeresströmungen (ozeanischen Zirkulation, ▸S. 32–33). Ohne diese Austauschprozesse wären die Polargebiete deutlich kälter und die Tropen deutlich wärmer, als sie es sind.
Eine Konsequenz der global unterschiedlichen Beleuchtungs- und Temperaturverhältnisse ist die Unterscheidung von Tageszeiten- und Jahreszeitenklimaten. Bei **Tageszeitenklimaten** liegen die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht deutlich über jenen zwischen den wärmsten und kältesten Monaten. Bei **Jahreszeitenklimaten** sind dagegen die Temperaturunterschiede der Monatsmittel, etwa zwischen Januar und Juli, deutlich größer als die Unterschiede eines Tagesganges. In **Thermoisoplethendiagrammen** (oder Strahlungsisoplethendiagrammen) können die Unterschiede gut erkannt werden (M5, ▸S. 224).

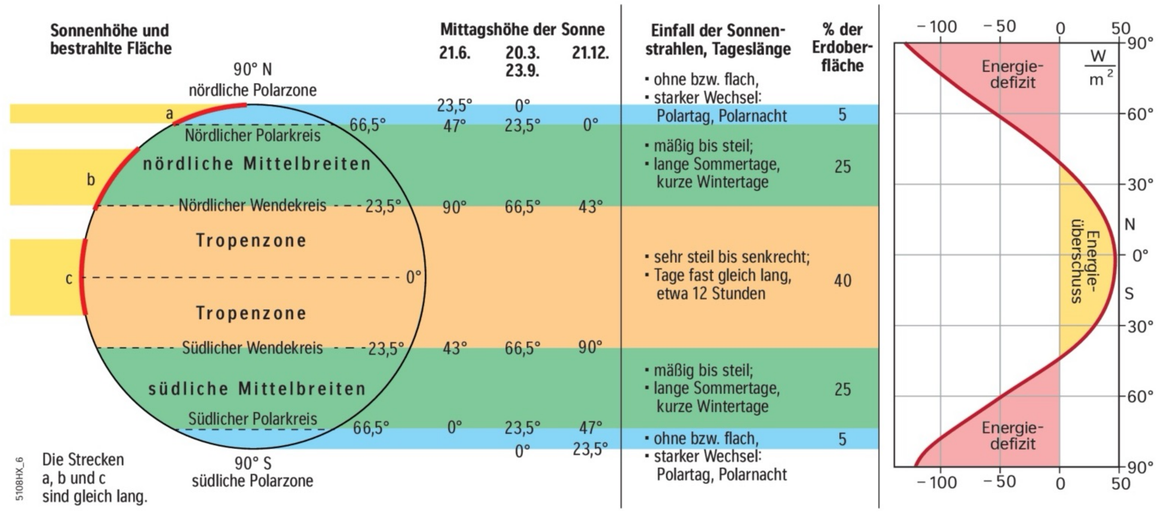


M 3 Erdrevolution und wandelnder Zenitstand der Sonne

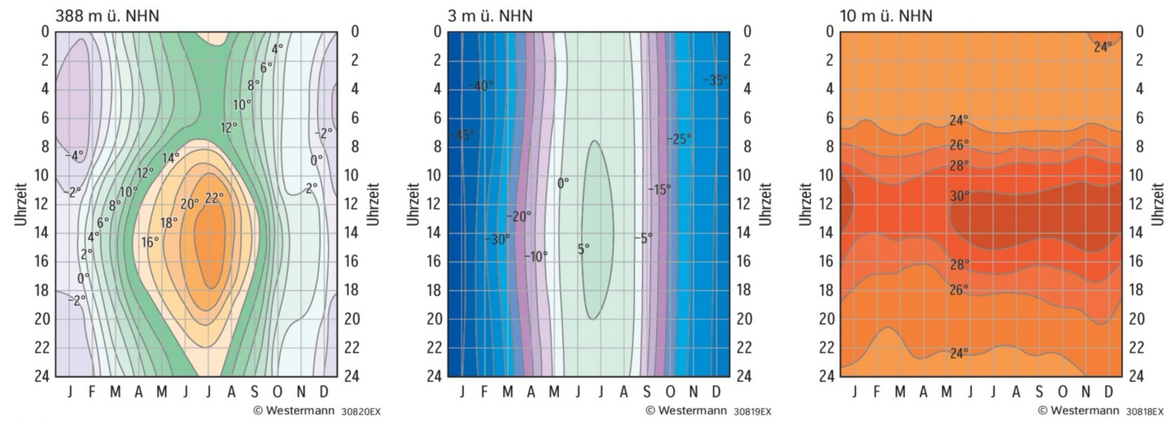
Der **subsolare Punkt** kennzeichnet einen Standort, bei dem die Sonne im **Zenit**, also direkt senkrecht über der Oberfläche, steht. An diesem Punkt ist die Einstrahlung (Insolation) maximal.

Subsolare Punkte finden sich auf den subsolaren Breitenkreisen und pendeln im Jahresverlauf zwischen den Wendekreisen.

M 6 Subsolarer Punkt



M 4 Beleuchtungszonen und Energiedefizit/-überschuss



M 5 Thermoisoplethendiagramme dreier Standorte

M1 Datensammlung beim Weinanbau

Wind, Wasser und Wolken – Wie lässt sich das Wetter detailliert beschreiben?

Das Wetter ist uns immer und überall präsent. Auch deshalb ist das Interesse an Wettervorhersagen so groß, sei es über Fernsehnachrichten oder Wetter-Apps. Doch was ist Wetter überhaupt und in welchen Elementen lässt es sich beschreiben?

Zu unterscheiden sind zunächst die Begriffe Wetter und Klima. **Wetter** ist der Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Das **Klima** dagegen ist eine abstrakte Durchschnittsgröße und meint die Zusammenfassung der Wettererscheinungen eines bestimmten Raumes über einen längeren Zeitraum hinweg; in der Regel geht man von 30 Jahren aus.

AUFGABEN

1. Stellen Sie Vermutungen an, welche Werte sich mit den in M1 abgebildeten Instrumenten messen lassen.
2. Erklären Sie anhand von Beispielen den Unterschied zwischen Wetter, Witterung und Klima (M2).
3. Beschreiben Sie das Land-See-Windsystem am Tag (M3). Übertragen Sie den Prozess anschließend auf die Nacht und fertigen Sie dazu eine Skizze an.
4. Erläutern Sie Prozesse der Wolkenbildung und gehen Sie dabei vor allem auf die Aspekte Luftfeuchte und Energieumsatz ein (M4, M5).
5. Begründen Sie, warum es im Lee von Gebirgen um bis zu 10 °C wärmer sein kann als in deren Luv (M6).

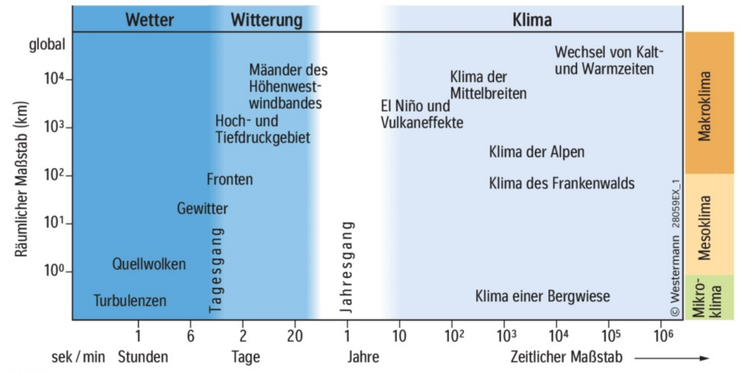
Wetter bzw. Klima kann anhand von Wetter- bzw. **Klimaelementen** gemessen werden. Zu diesen zählen Temperatur, Luftdruck, Wind und Luftfeuchtigkeit. Dem gegenüber stehen die sogenannten Wetter- bzw. **Klimafaktoren**. Dabei handelt es sich um Faktoren, die wiederum die Klimaelemente an einem Ort beeinflussen, z. B. geographische Breite, topographische Höhe und Exposition, Nähe zu großen Gewässern, Boden, Bebauungsgrad.

Für Wetter und Klima ist neben der Temperatur besonders der Luftdruck eine wichtige Messgröße. Der Luftdruck auf der Erde entsteht durch die Eigenmasse der Atmosphäre. Im Bereich des Meeresspiegels herrscht ein Normaldruck von circa 1013 Hektopascal (hPa). Je weiter man sich von der Erdoberfläche nach oben bewegt, desto mehr nimmt der Luftdruck ab – in der Regel halbiert er sich alle 5,5 Kilometer (▸ S. 12: M2). So werden auf der Zugspitze (2962 m) etwa 700 hPa und auf dem Mount Everest (8849 m) nur noch ca. 315 hPa gemessen. Die Luftdruckabnahme sorgt für eine geringere Luftdichte, was wiederum dazu führt, dass sich die Reibung der Moleküle verringert und es somit in der Höhe kälter wird – etwa 0,65 °C alle 100 Meter.

Luftdruckdifferenzen werden mit **Isobaren** (Linien gleichen Luftdrucks) dargestellt (M3) und können neben der vertikalen Ebene auch im horizontalen Bereich vorkommen. Druckunterschiede hängen mit unterschiedlichen Strahlungs- und Temperaturverhältnissen zusammen. Warme Luft dehnt sich stärker als kalte Luft aus, sodass thermische Hochdruckbereiche entstehen können. **Winde** wiederum, die in den Parametern Richtung und Geschwindigkeit gemessen werden, sind druckausgleichende Luftströmungen von Hoch- zu Tiefdruckbereichen. Je höher die Druckunterschiede, desto höher die sogenannte **Gradientkraft** und somit die Stärke des Windes. Ein typisches Beispiel ist der **Land-See-Wind** (M3).

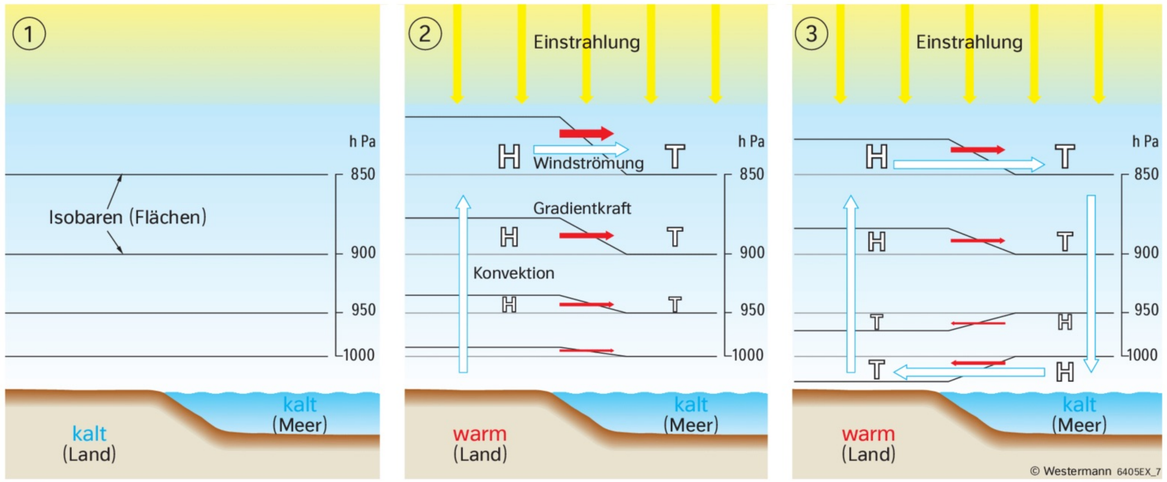
Wesentlich für das Wetter ist außerdem das Wasser. Es ist der einzige Stoff, der unter den Druck- und Temperaturbedingungen der Erdoberfläche in drei Aggregatszuständen vorkommt: fest, flüssig und gasförmig (M5). Gemessen wird die Niederschlagsmenge, aber auch die Luftfeuchtigkeit, das heißt der Gehalt an Wasserdampf in der Luft.

Die Aggregatszustandsänderungen sind begleitet von Energieumsätzen in Form von Wärmefreisetzung oder -verbrauch (M5). So kühlen aufsteigende Luftmassen, in denen Wasser als Wasserdampf enthalten ist, **trockenadiabatisch** mit circa 1 °C pro 100 m ab. Wird der **Taupunkt** (▸ S. 77: M4) überschritten, so wird Kondensationswärme frei. Die nun einsetzende Wolkenbildung geht einher mit einer **feuchtadiabatischen** Abkühlung der Luft mit circa 0,4 – 0,7 °C pro 100 m – eine geophysikalische Gesetzmäßigkeit, welche für den **Föhn**effekt verantwortlich ist (M6).

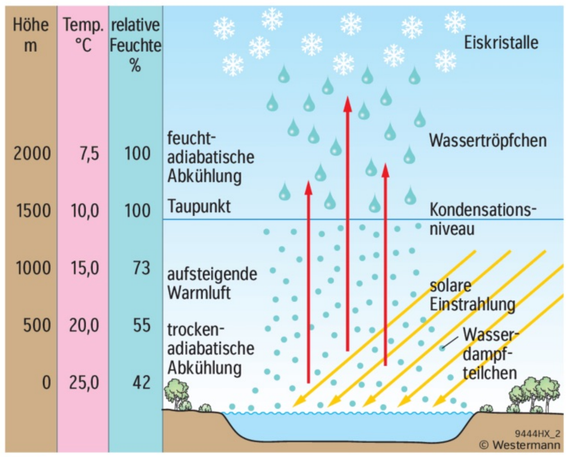


M2 Zeit- und Raumskala der Klimageographie

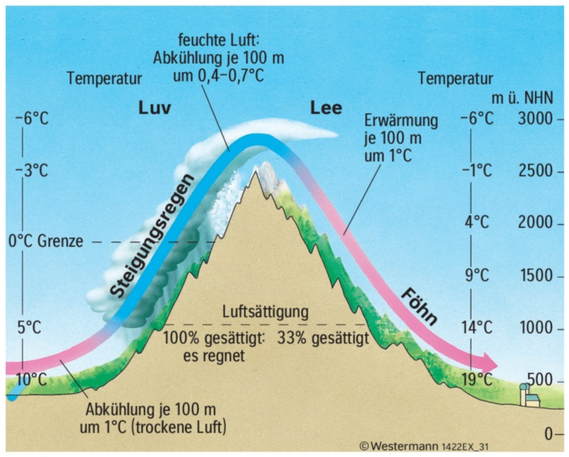
M5 Aggregatszustandsänderungen des Wassers



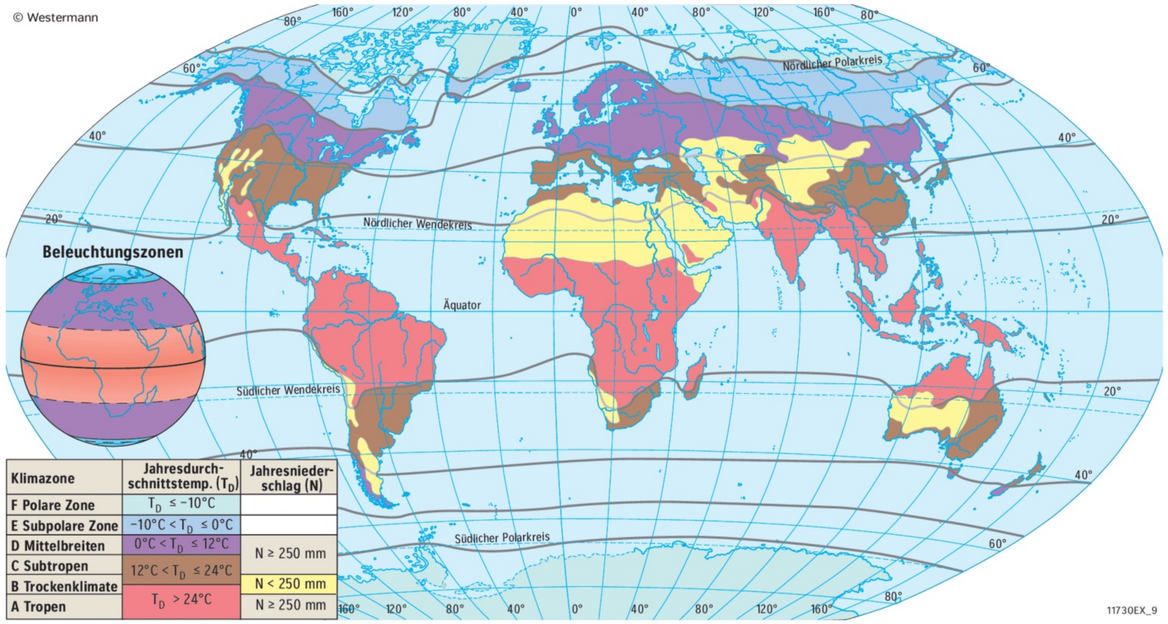
M3 Land-See-Windsystem: Seewind am Tag



M4 Luftfeuchte und Wolkenbildung



M6 Steigungsregen und Föhn



Klimazone	Jahresdurchschnittstemp. (T_D)	Jahresniederschlag (N)
F Polare Zone	$T_D \leq -10°C$	
E Subpolare Zone	$-10°C < T_D \leq 0°C$	
D Mittelbreiten	$0°C < T_D \leq 12°C$	N ≥ 250 mm
C Subtropen	$12°C < T_D \leq 24°C$	
B Trockenklimate	$T_D > 24°C$	N < 250 mm
A Tropen		N ≥ 250 mm

M1 Beleuchtungszonen (kleine Erdkugel) und thermische Klimazonen

E↑ Klima- und Vegetationszonen im Überblick – Wie ist die Erde gegliedert?

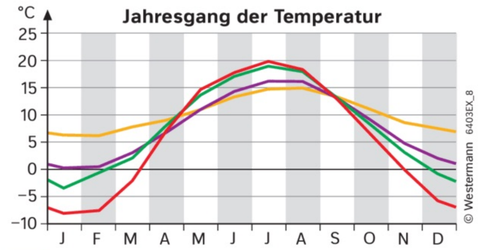
AUFGABEN

1. Beschreiben Sie die Temperaturverteilung auf der Erde und vergleichen Sie diese mit den Beleuchtungszonen (M1).
2. a) Ordnen Sie den vier in M2 dargestellten Klimastationen mithilfe des Atlas begründet einen der folgenden Orte zu: Emden (Deutschland), Krakau (Polen), Valentina (Irland), Charkiw (Ukraine).
   b) Stellen Sie Vermutungen über die Jahresniederschlagsmenge der vier Orte an. Überprüfen Sie diese mit einer geeigneten Atlaskarte.
3. Charakterisieren Sie genetische sowie effektive Klimaklassifikationen. Ordnen Sie im Anschluss die Klassifikation M4 begründet zu.
4. Ordnen Sie die Klimastationen M3 begründet in die Klassifikation M4 ein.
5. Beurteilen Sie Einsatzmöglichkeiten genetischer und effektiver Klassifikationstypen im Bereich Landwirtschaft.
6. Recherchieren Sie weitere konkrete Klimaklassifikationen und stellen Sie deren grundlegende Abgrenzungsprinzipien vor (▸S. 228).

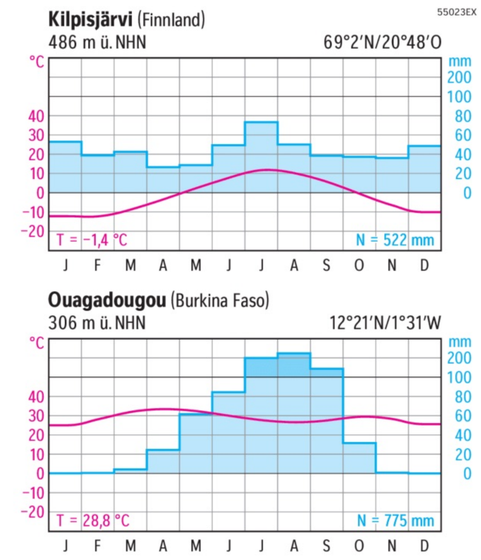
Der Begriff Geographie leitet sich aus dem Altgriechischen ab und bedeutet etymologisch Erdbeschreibung. Zu dieser gehört seit der Antike die Einteilung der Welt in verschiedene Zonen. Wie und nach welchen Kriterien kann eine solche Gliederung erfolgen?

Die klimageographische Gliederung der Erde

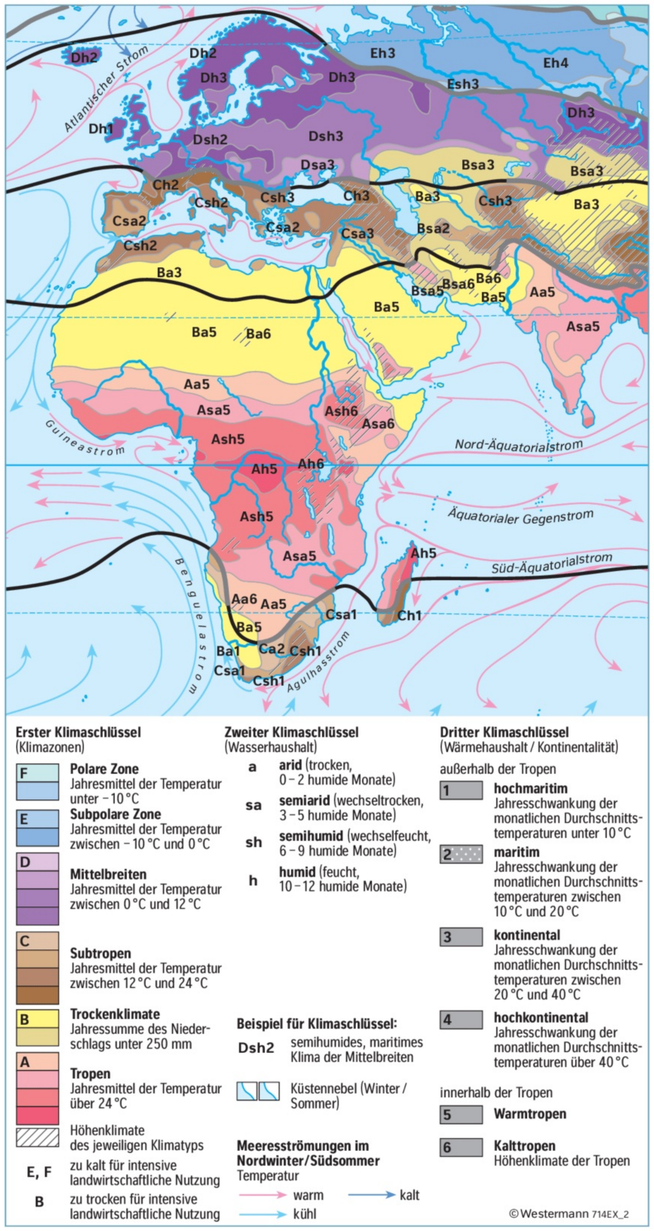
Klimageographisch lässt sich die Erde in die drei Beleuchtungszonen Polarzone, Mittelbreiten und Tropenzone einteilen, die sich breitenkreisparallel über die Erde ziehen (▸S. 15: M4). Sie werden auch **strahlungsklimatische Klimazonen** genannt. Blickt man allerdings auf die globale Verteilung der Temperaturen oder Niederschläge, so erkennt man, dass die Klimaelemente auch von anderen Faktoren abhängen und dass Orte gleicher geographischer Breite von unterschiedlichen Temperaturen oder Niederschlägen geprägt sind.
Ein wesentlicher Grund dafür liegt in der Verteilung von Wasser und Land. Große Wasserflächen wie die Ozeane weisen eine thermisch ausgleichende Wirkung auf. Der Hintergrund dafür ist, dass Wasser eine erhöhte Strahlungsenergie benötigt, um sich zu erwärmen. Des Weiteren kann die zugeführte Energie durch Turbulenzen auch in große Tiefen abgeführt werden. Die Folge ist, dass Wassermassen im Sommer langsamer aufwärmen und kühlend wirken. Im Winter dagegen wirken sie als Wärmespeicher. Dieser Effekt führt zu kontinentalen und maritimen Klimaten. **Kontinentalität** zeichnet sich durch eine erhöhte Temperaturamplitude aus, während ein ausgeglichenerer Jahresverlauf für **Maritimität** prägend ist. Hinzu kommt, dass Meeresklimate aufgrund der Nähe zu den Wassermassen auch eine tendenziell höhere Niederschlagsmenge aufweisen (▸S. 119: M4). Weitere Gründe liegen im Vorhandensein von temperaturregelnden Meeresströmungen (▸S. 32/33) oder massiven Gebirgen, die auch Föhn- sowie Regenschatteneffekte hervorrufen können (▸S. 17: M6, 28/29).
Klimazonen werden in verschiedenen Klimaklassifikationen unterschieden. Bei **genetischen Klassifikationen** steht die Entstehung von Zonen im Vordergrund, indem vor allem entsprechende Klimafaktoren wie Sonneneinstrahlung oder Winde die Grundlage bilden. Diese Klassifikationen werden von Modellen der atmosphärischen Zirkulation (▸S. 22–27) abgeleitet. **Effektive Klassifikationen** orientieren sich dagegen stärker an den Klimaelementen sowie räumlichen Aspekten wie Vegetation oder Bodenbeschaffenheit und fokussieren sich somit vor allem auf die Wirkungen des Klimas. Zwischen beiden Typen stehen sogenannte integrative Ansätze.



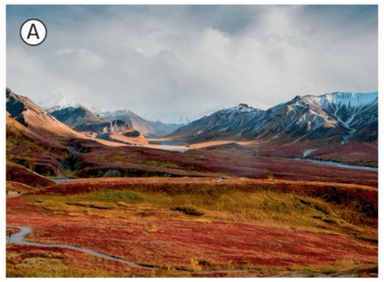
M2 Jahresgang der Temperatur an ausgewählten Klimastationen (alle etwa auf 50° n. Br.)

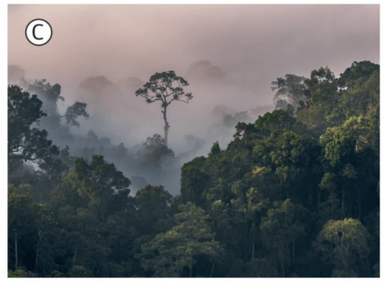


M3 Klimadiagramme zweier Stationen



M4 Klimaklassifikation nach Siegmund und Frankenberg





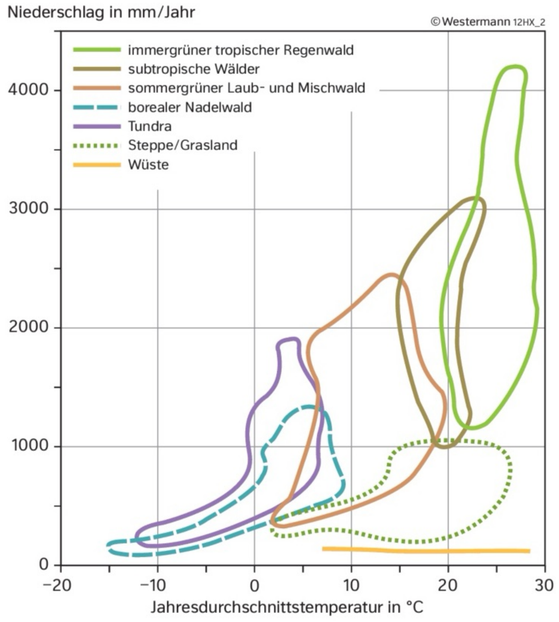
M 1 **Vegetationszonen (Auswahl)**

Die vegetationsgeographische Gliederung der Erde

Da die Vegetation maßgeblich vom Klima beeinflusst wird, ähneln sich klima- und vegetationsgeographische Gliederungen der Erde in ihrer zonalen Aufteilung. Folgende Vegetationszonen lassen sich unterscheiden: An die weitgehend vegetationslose polare **Kältewüste** schließt die **Tundra** mit kurzer Vegetationsperiode bis maximal 90 Tage und einer Dominanz von Moosen, Flechten und Gräsern an. Es folgt der **boreale Nadelwald**, in dem vor allem Fichten, Kiefern und Lärchen, die im Jahr 90 bis 150 Tage wachsen, dominieren. In dieser Zone liegt im Wesentlichen die Anbaugrenze von Getreide. Der Bereich der Nadelwälder geht in **sommergrüne Laub- und Mischwälder** der Mittleren Breiten über. In den Subtropen herrschen **Hartlaubgehölze** vor, die sich z. B. durch lederartige, nadelförmige, kleine Blätter auf die ariden und heißen Sommer eingestellt haben. An die Grasländer schließen **Halbwüsten und Wüsten** an. Die Grasländer lassen sich in kontinentale und zum Teil kalte **Steppen** und in ganzjährig wärmere, wechselfeuchte **Savannen** unterscheiden. Die verschiedenen Formen der Savannen (Dornstrauch-, Trocken- und Feuchtsavanne) sind relativ breitenkreisparallel, gehen mit zunehmendem Niederschlag einher und münden schließlich in den im hohen Maße biodiversen immergrünen **tropischen Regenwald**.

Durch die subtropische Zone der Hartlaubgehölze wie auch durch die Savannen und Steppen führt die **klimatische Trockengrenze**. Sie trennt Gebiete mit Niederschlagsdefizit (aride Gebiete) von Gebieten mit Niederschlagsüberschuss (humide Gebiete), das heißt Verdunstung und Niederschlag besitzen hier den gleichen Wert.

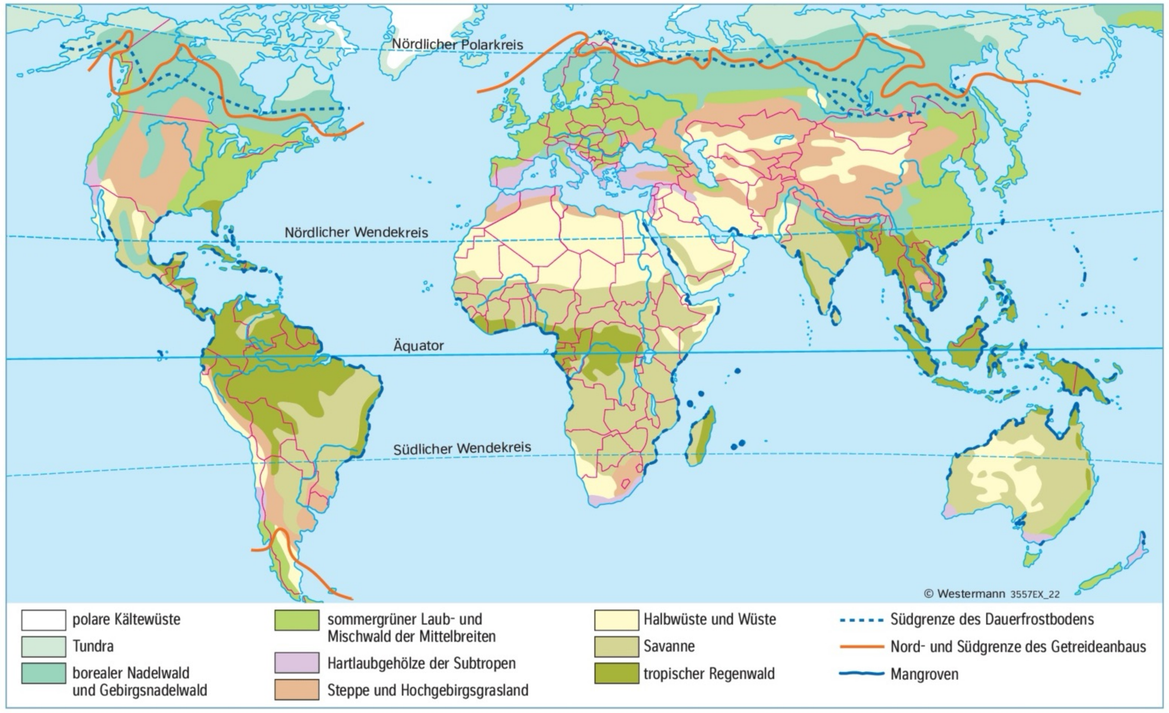
Die **Kältegrenze** hingegen markiert den Grenzsaum, ab dem die Wärme so gering ist, dass Pflanzenwachstum in der Regel nicht mehr möglich ist. Sie liegt im Grenzbereich von Subpolarer und Polarer Zone (▸S. 92/93) bzw. oberhalb der Baumgrenze in Hochgebirgen (▸S. 165).



M 2 **Vegetationsformationen im Zusammenhang mit Niederschlag und Temperatur**

AUFGABEN

1. Ordnen Sie die Bilder (M1) Vegetationszonen zu (M3).
2. a) Erklären Sie die globale Verteilung von Vegetationszonen (M2, M3).
   b) Lokalisieren Sie Steppen und Savannen der Erde (M3). Beschreiben Sie die Unterschiede in Lage und Klima (M2, M3, Atlas).
3. Erstellen Sie eine Tabelle mit den Vegetationszonen, deren prägenden Pflanzen und entsprechenden Klimazonen (Text, M3, ▸S. 18/19).
4. Stellen Sie am Beispiel des Ökosystems Mangrovenwald die Vernetzung der Biosphäre bzw. Flora mit den anderen Sphären dar (M4, Recherche, ▸S. 228).

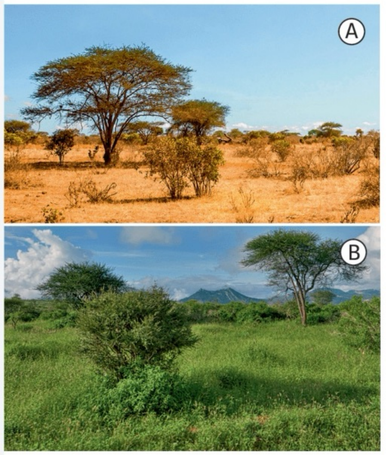


M 3 **Potenzielle natürliche Vegetation der Erde**

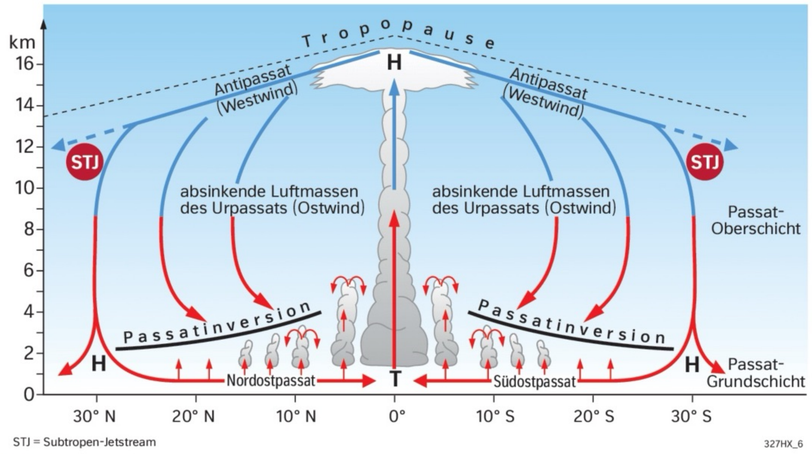
„Mangrovenwälder sind ein außergewöhnliches Ökosystem, das an der Schnittstelle von Land, Süßwasser und Meer existiert. […] Als Kohlenstoffsenke verbessern sie die Kohlenstoffbindung drei- bis fünfmal stärker als ein tropischer Binnenwald und spielen eine wichtige Rolle im Kampf gegen die globale Erwärmung. Sie schützen die Küste vor Bodenerosion und Klimagefahren. Sie sind wichtige Fischlaichgebiete zur Erhaltung der Fischbestände. Nicht weniger als 3000 Arten suchen in ihrem starken Wurzelgeflecht Schutz. **Mangroven** helfen auch bei der Wasserfiltration und sorgen für Einnahmen im Zusammenhang mit touristischen Aktivitäten. Nicht zuletzt sind Bewohner in Küstengebieten auf der ganzen Welt auf Mangroven angewiesen, um ihren Lebensunterhalt zu sichern und ihr kulturelles Erbe aufrechtzuerhalten. Wir schätzen daher, dass 100 Millionen Menschen von Mangroven abhängig sind."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M 4 **Ökosystem Mangrovenwald**



M1 In der Savanne Afrikas



M2 Die Passatzirkulation

Grundlagen der atmosphärischen Zirkulation

Die Passatzirkulation

Von Regenwäldern bis hin zu Trockenwüsten – die Tropen sind von sehr unterschiedlichen Landschaften geprägt. Dabei können bestimmte Zonen innerhalb eines Jahres ihr Erscheinungsbild massiv ändern, während andere nur wenig jahreszeitlichen Wandel erfahren. Mit dem Modell der Passatzirkulation lassen sich grundlegende Aspekte der Klima- und Vegetationsgeographie der Subtropen und Tropen erklären.

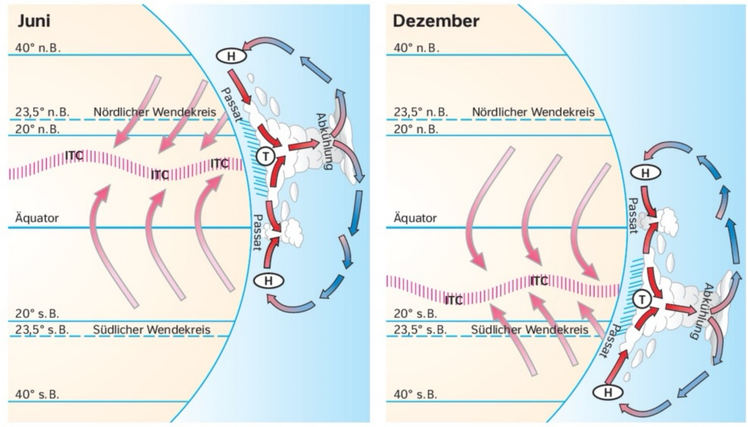
Die **Passatzirkulation** (bzw. Hadleyzelle, ▸ S. 26) wird angetrieben von den Luftdruckgegensätzen des bodennahen **subtropischen Hochdruckgürtels** und der **äquatorialen Tiefdruckrinne**, auch **Innertropische Konvergenzzone (ITC)** genannt.

In den Bereichen, in denen sich die Sonne im Zenit befindet (▸ S. 14/15), entsteht die ITC, da sich hier die Luft stärker erwärmt, aufsteigt und zum typischen **Zenitalregen** der Tropen führt. Aufgrund der Barrierewirkung der Tropopause (▸ S. 12: M2) bilden sich in der Höhe die sogenannten **Antipassate**. Durch weitere Abkühlung sinken die Luftmassen polwärts wieder ab. Es entstehen im bodennahen Bereich überaus konstante und kraftvolle Winde, die **Passate**. Diese wehen wieder Richtung ITC und werden dabei durch den **Corioliseffekt** (▸ S. 24/25) jeweils spezifisch abgelenkt (M3). Je nach Herkunft können sie trocken oder feucht sein. So bekommen zum Beispiel auf dem afrikanischen Kontinent die östlichen Festlandbereiche durch den Südostpassat vergleichsweise viel Niederschlag, während der Nordostpassat ungleich trockener ist (▸ S. 26/27).

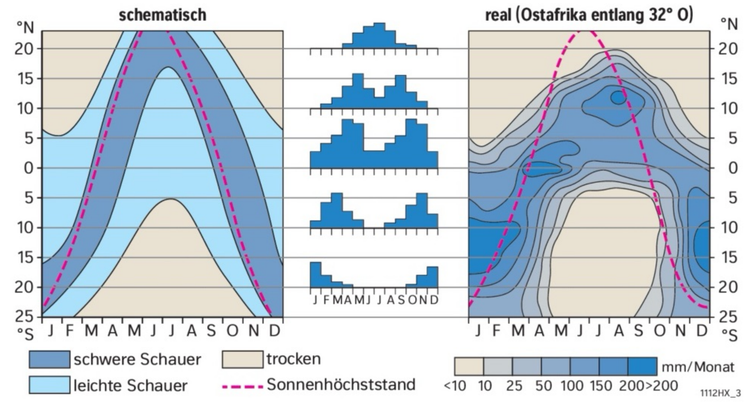
Die ITC folgt dem Zenitstand der Sonne und bewegt sich im Jahresverlauf zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis. Diese Bewegung charakterisiert das regionale Klima der Tropen und führt im Bereich der äußeren Tropen zu wechselfeuchten bzw. semiariden oder semihumiden Klimaten mit ausgeprägten Regen- und Trockenzeiten (▸ Kap. 2).

AUFGABEN

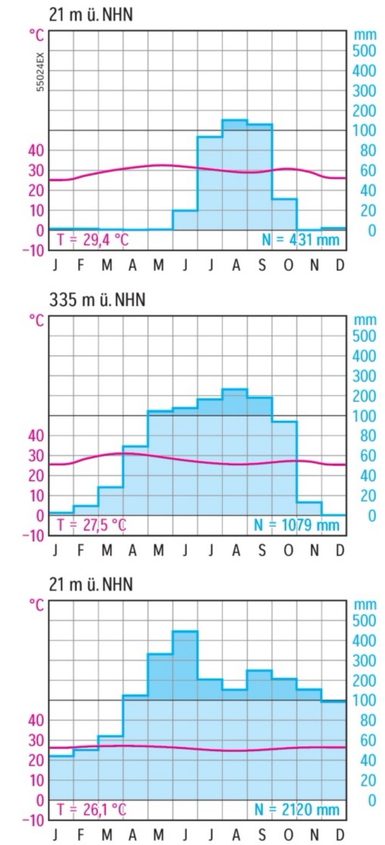
1. Vergleichen Sie die beiden Fotos in M1, die die gleiche Region zu unterschiedlichen Zeiten darstellen. Deuten Sie die Unterschiede klimageographisch.
2. Erläutern Sie unter Einbeziehung der Fachbegriffe den Weg der Luftmassen bei der Passatzirkulation (M2, Text).
3. a) Beschreiben Sie die Verlagerung der ITC und die Konsequenzen für die regionalen Niederschläge (M3, M4).
   b) Erklären Sie die klimageographischen Hintergründe für die Verlagerung.
4. Ordnen Sie den Klimadiagrammen M6 jeweils begründet einen ungefähren Breitenkreis zu (M4).
5. a) Stellen Sie eine begründete Vermutung auf, welche Route Tiere wie Gnus im Bereich der Serengeti jährlich zurücklegen (M5, M7, Atlas).
   b) Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebnis einer Internetrecherche zur Wanderung von Gnus.
6. a) Beschreiben Sie den globalen Verlauf der ITC im Nordwinter und nennen Sie dabei auch entsprechende Breitenkreise (Atlas).
   b) Begründen Sie diesen Verlauf der ITC.



M3 Verlagerung der ITC



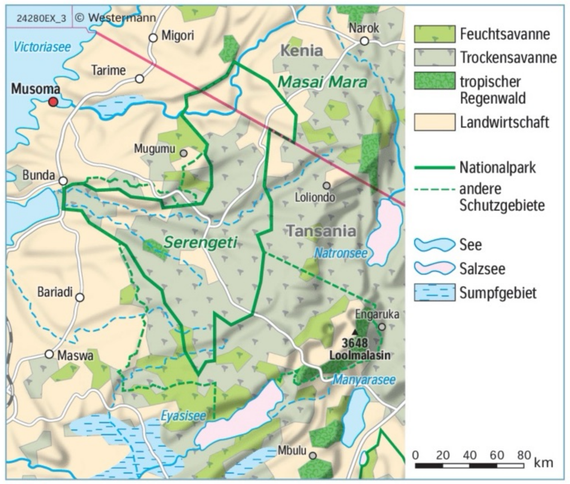
M4 ITC und Niederschlagsverteilung



M6 Klimadiagramme von drei afrikanischen Stationen

Die Serengeti ist eine Savanne und umfasst einen der größten Nationalparks der Erde. Sie befindet sich in Tansania und geht im Norden an der Grenze zu Kenia in das Masai-Mara-Naturschutzgebiet über. Am südöstlichen Rand der Serengeti liegt der Ngorongoro-Krater. Die genannten Gebiete sind unter anderem der Lebensraum von Gnus, Zebras, Gazellen und Antilopen. Diese sind für ausgedehnte Wanderungen im Jahresverlauf bekannt.

M5 Die Serengeti



M7 Wanderungsgebiet der Gnus in der Serengeti und angrenzender Räume

Die planetarische Frontalzone

Während die Passate die prägenden Winde der (Sub-)Tropen darstellen, sind es die extrem schnellen Jetstreams, welche im außertropischen Bereich einen großen Einfluss haben.

Der Bereich zwischen der Polarzone und den Tropen, zwischen etwa dem 60°- und 30°-Breitenkreis, wird auch als **planetarische Frontalzone** bezeichnet (M2). Diese ist durch immense Temperatur- sowie Luftdruckgegensätze bestimmt. Dabei ist die Gradientkraft wesentlich, die aus Unterschieden im Luftdruck resultiert und Winde erst entstehen lässt. Diese Kraft ist in der oberen Troposphäre am stärksten. Die Konsequenz sind massive Windgeschwindigkeiten von bis zu 540 km/h, die sogenannten **Jetstreams** (Strahlströme). Die beiden bekanntesten sind der Polarfront- und der Subtropen-Jetstream (M4). Jetstreams verhindern zunächst den Luftmassenaustausch zwischen hohen und niederen Breiten. Erst wenn ein Jetstream zu mäandrieren beginnt, kommt es zu einem Luftmassen- und damit Energieaustausch.

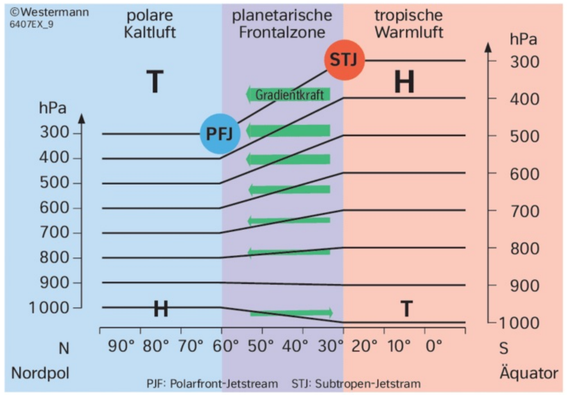
Einen maßgeblichen Einfluss hat außerdem der Coriolis-effekt (M3). Dieser resultiert aus der Erdrotation und sorgt dafür, dass die Winde auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt werden. Diese Ablenkung führt zusammen mit der Gradientkraft zur Entstehung von **Westwinden**, also zu Winden, die aus dem Westen kommend sich relativ breitenkreisparallel mit hohen Geschwindigkeiten ostwärts bewegen.

AUFGABEN

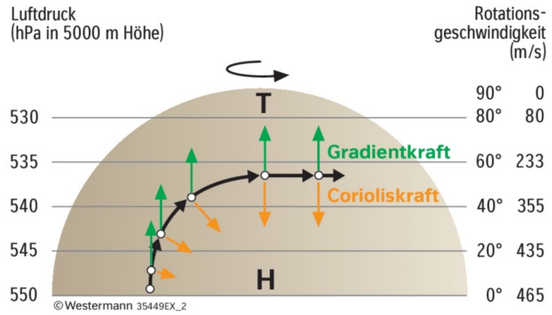
1. Stellen Sie Vermutungen an, wieso sich die in M1 dargestellten Flugzeiten unterscheiden.
2. a) Charakterisieren Sie die planetarische Frontalzone und gehen Sie dabei auf den Luftdruck ein (M2).
   b) Erklären Sie die Entstehung der Westwinde (M2, M3).
3. E↑ Erläutern Sie die Entstehung von dynamischen Hoch- und Tiefdruckgebieten (M5, M6).
4. E↑ Recherchieren Sie im Internet nach der aktuellen Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten in den Mittleren Breiten. Setzen Sie diese Verteilung in Zusammenhang mit M5 (▸S. 228).
5. E↑ Begründen und beurteilen Sie folgende Aussage: „Der Polarfront-Jetstream erschwert den globalen Energieausgleich und sorgt zugleich für diesen. Er beeinflusst maßgeblich das Wettergeschehen in den Mittleren Breiten.“

	Abflug (Ortszeit)	Dauer	Ankunft (Ortszeit)
MUC – JFK	12:25 Uhr	9:15 Std.	15:40 Uhr
JFK – MUC	17:30 Uhr	7:40 Std.	07:10 Uhr (+1)

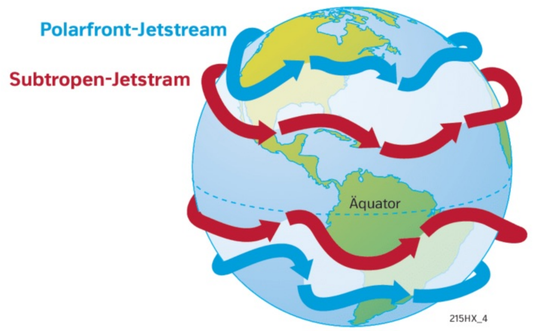
M1 Flugzeiten von München (MUC) nach New York (JFK)



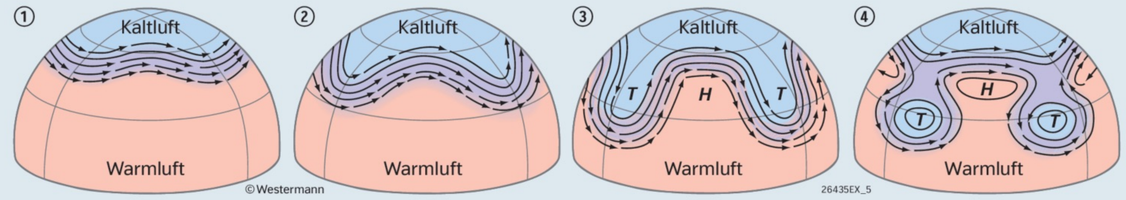
M2 Schematischer Verlauf von Isothermen/Isobaren in einem Profilschnitt zwischen Nordpol und Äquator



M3 Ablenkung des Windes durch den Corioliseffekt



M4 Jetstreams der Erde



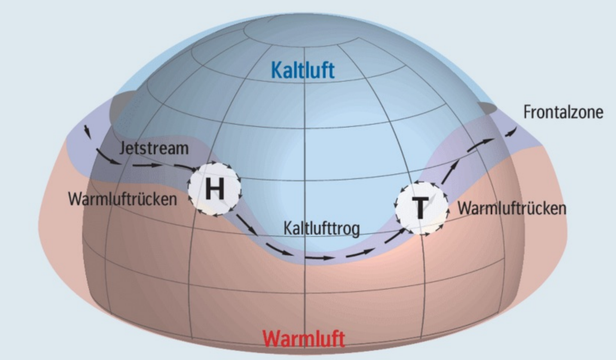
① Der Jetstream verläuft annähernd breitenkreisparallel (Zonalzirkulation) und verhindert dadurch den Luftmassenaustausch zwischen Tropen und Polargebieten.

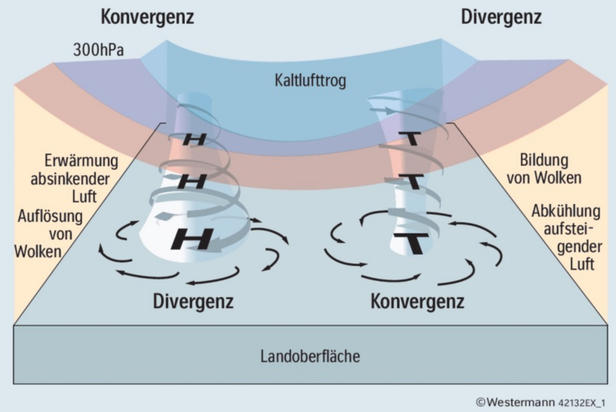
② Dadurch steigt der Temperaturgegensatz zwischen Tropen und Polargebieten. Der Jetstream geht in eine Wellenzirkulation über. Diese wird durch Nord-Süd-verlaufende Hochgebirge verstärkt.

③ Überschreitet der Temperaturgegensatz einen kritischen Wert (6 °C / 1000 km), weist der Jetstream einen zunehmend meridionalen Strömungsverlauf (Meridionalzirkulation) auf. Es bilden sich deutliche Mäanderbögen als Kaltlufttröge und Warmluftrücken aus. Durch den weiteren Vorstoß von tropischer Warmluft nach Norden bzw. polarer Kaltluft nach Süden findet ein Energieaustausch statt.

④ Bei hohem Ausschlag der Wellen mit raschen Richtungswechseln auf engem Raum können einzelne Zellen als Zyklonen und Antizyklonen (M6) abgeschnürt werden (*Cut off*).

E↑ **M5 Verschiedene Ausprägungen des Polarfront-Jetstreams auf der Nordhalbkugel**





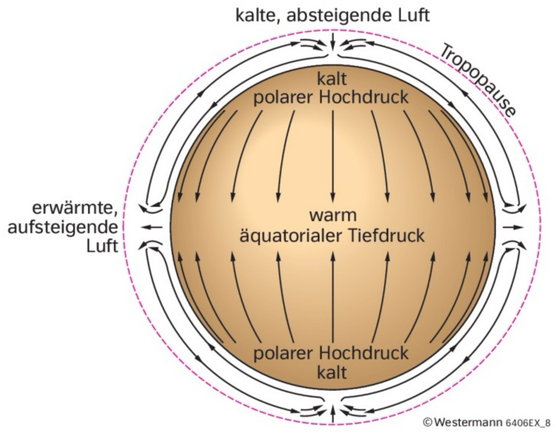
Innerhalb des mäandrierenden Jetstreams kommt es zu Beschleunigungs- und Abbremseffekten und dadurch zur Verlagerung von Luftmassen: Im Konvergenzbereich in der Höhe strömt Luft zusammen, es kommt zu einem Luftmassenüberschuss. Die akkumulierten Luftmassen sind zum Absinken gezwungen. Dadurch entsteht ein dynamisches Hochdruckgebiet (**Antizyklone**), das sich auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn dreht und sich bis zur Erdoberfläche auswirkt. Die Luft strömt in Bodennähe zunehmend seitlich aus (Bodendivergenz). Die in der Antizyklone absinkenden Luftmassen erwärmen sich trockenadiabatisch, was zur Wolkenauflösung führt.

Im Divergenzbereich in der Höhe fließt Luft schnell ab, es entsteht dort ein Luftmassendefizit. Vom Boden muss Luft nachströmen (Bodenkonvergenz) und aufsteigen, was zur Bildung eines dynamischen Tiefdruckgebiets (**Zyklone**) führt. Dieses wirkt sich ebenfalls bis auf die Erdoberfläche aus und dreht sich auf der Nordhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn. Die aufsteigende Luft kühlt ab, es kommt zu Wolkenbildung und konvektivem Niederschlag.

Die Zyklonen und Antizyklonen sorgen durch die Verwirbelung und Umlenkung der Luftmassen für den Energieaustausch zwischen hohen und niederen Breiten.

E↑ **M6 Die Entstehung dynamischer Druckgebilde aus dem Polarfront-Jetstream**

M1 Satellitenbild der Erde (▸ S. 221)



M2 Ein-Zellen-Modell – Globale Strömungsverhältnisse

Das Drei-Zellen-Modell

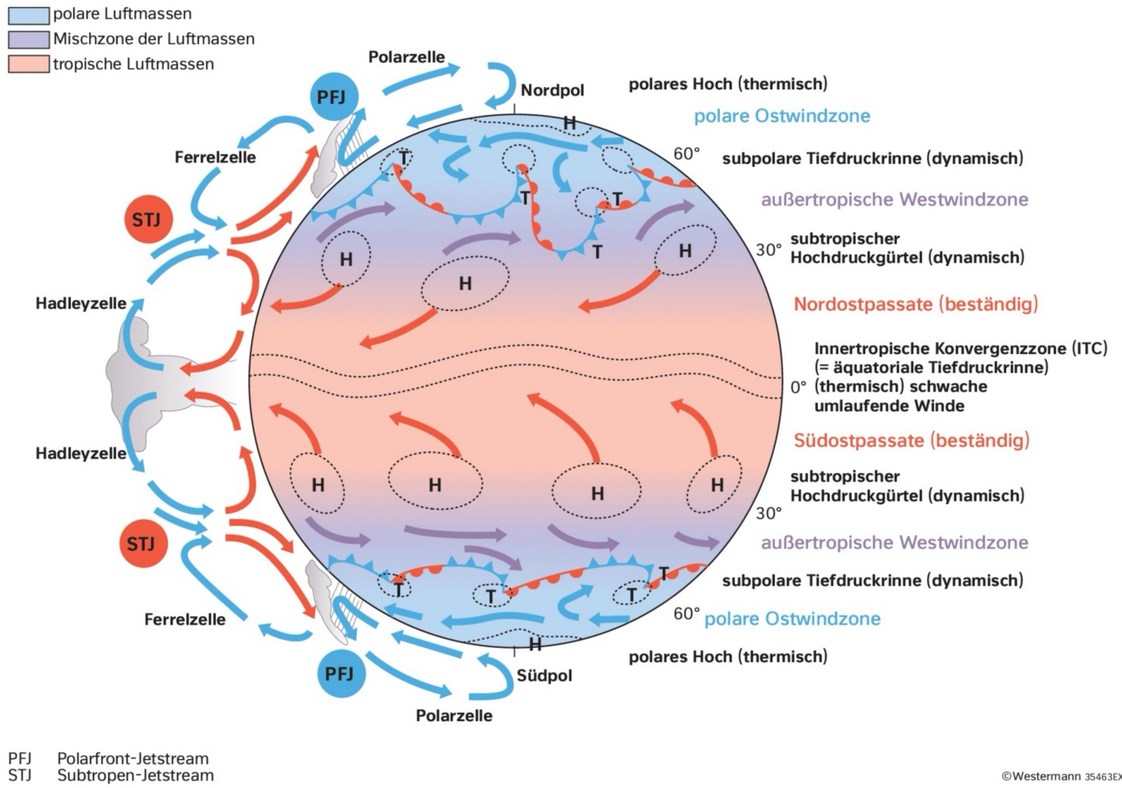
Die Vorgänge in unserer Atmosphäre sind sehr komplex und bisher nur in Bruchstücken verstanden. Mit dem Modell der atmosphärischen Zirkulation erfasst man zumindest die wesentlichen Grundzüge und kann viele Wetter- bzw. Klimaphänomene auf der Erde erklären.

Die **atmosphärische Zirkulation** (auch planetare oder globale Zirkulation) beschreibt großräumige Luftbewegungen auf der Erde, welche vor allem durch die Gradientkraft angetrieben werden. Ein sehr vereinfachtes Modell der atmosphärischen Zirkulation ist das **Ein-Zellen-Modell** (M2). Es ist allerdings wenig komplex und bezieht beispielsweise die Erdrotation und den dadurch verursachten Corioliseffekt nicht mit ein. Klar differenzierter ist das **Drei-Zellen-Modell**, demgemäß auf jeder der beiden Hemisphären drei große Zirkulationszellen wirken (M3, M4).

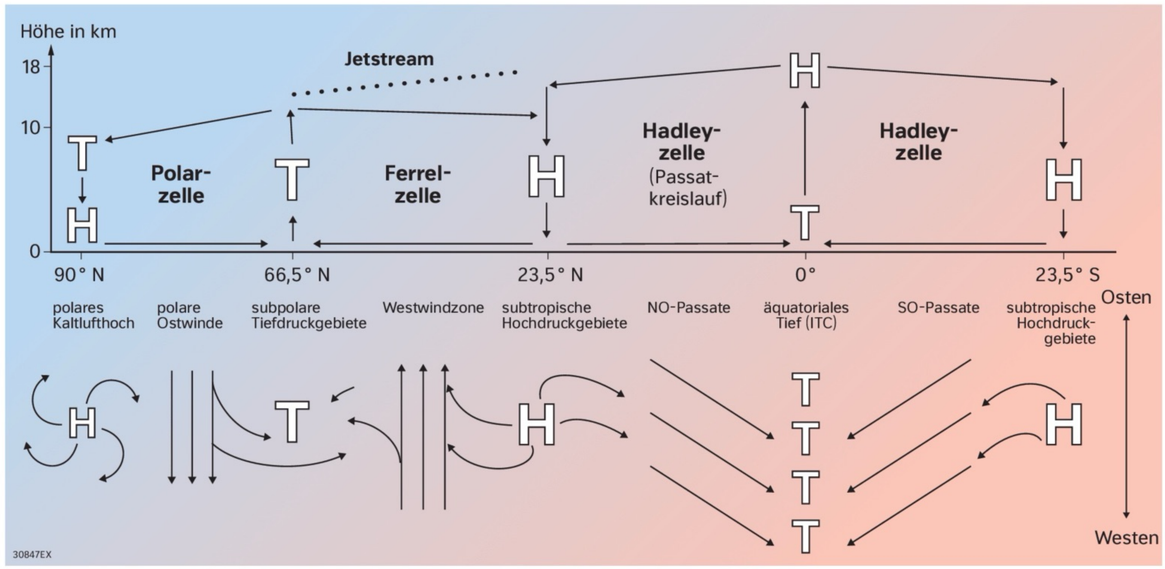
Die **Hadleyzelle** bezieht sich auf die Passatzirkulation zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und der Innertropischen Konvergenzzone mit ihrem durch hohe Sonneneinstrahlung entstehenden bodennahen, thermischen Tiefdruckgebiet (▸ S. 22/23). Der Corioliseffekt lenkt den Wind auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links ab, sodass die beständigen Nordost- und Südostpassate entstehen.
Die **Polarzelle** ist wie die Hadleyzelle thermisch bedingt. Durch die geringe Sonneneinstrahlung und kalte Luft kommt es im Bereich der Pole zu einem bodennahen Hochdruckgebiet. Die Gradientkraft bewirkt eine Luftbewegung Richtung Tiefdruckgebiet im Bereich des Polarkreises (66,5°). Durch den Corioliseffekt entstehen polare Ostwinde, die relativ konstant nach Westen wehen.
Die **Ferrelzelle** ist die Verbindung zwischen Hadley- und Polarzelle und wird von diesen dynamisch angetrieben. Sie kann tropische Warmluft aus der Hadleyzelle in die Mittleren Breiten bis hin zum Polarkreis transportieren. Dort steigt diese im subpolaren Tiefdruckgebiet auf und wird so Teil der Polarzelle. Umgekehrt bringt die Ferrelzelle auch polare Kaltluft in die Mittleren Breiten. Im Vergleich zu den anderen beiden Zellen ist die Ferrelzelle instabiler. Den konstanten Westwinden steht ein ständiger Wechsel von Kalt- und Warmfronten und von dynamischen Tief- (Zyklone) und Hochdruckgebieten (Antizyklone) gegenüber, welche zu einem recht wechselhaften Wetter führen (▸ S. 120/121).

AUFGABEN

1. Beschreiben Sie das Satellitenbild und begründen Sie die dargestellte Wolkenverteilung (M1).
2. Erklären Sie die atmosphärische Zirkulation gemäß des Ein-Zellen-Modells (M2) und machen Sie den dabei angenommenen Energieumsatz deutlich.
3. Beschreiben Sie die Verteilung der Luftdruckgebiete sowie Windgürtel im Drei-Zellen-Modell und begründen Sie diese (M3, M4).
4. Interpretieren und erklären Sie die Wolkenverteilung des Satellitenbilds M1 vergleichend auf der Grundlage beider Modelle (M2 – M4, ▸ S. 221).
5. Recherchieren Sie die Wolkenverteilung aktueller Satellitenbilder und analysieren Sie diese (Internet).



M3 Die atmosphärische Zirkulation gemäß des Drei-Zellen-Modells



M4 Das Drei-Zellen-Modell (Schnitt)

M1 Straßenszenen in Nordindien im Sommer (A) und im Winter (B)

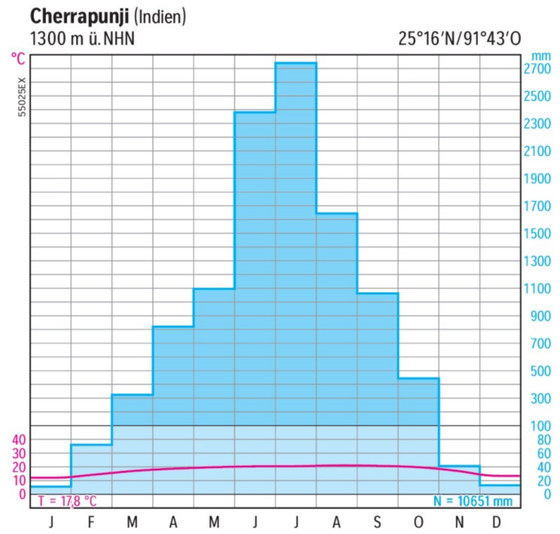
Monsunklima – Wieso kann es an einem Ort zu Überschwemmungen und Dürren kommen?

Die Monsunzirkulation ist ein Sonderfall der tropischen Passatzirkulation. Der mit ihr verbundene jahreszeitliche Witterungswechsel hat massive Auswirkungen auf die natürlichen Sphären und auf den Menschen.

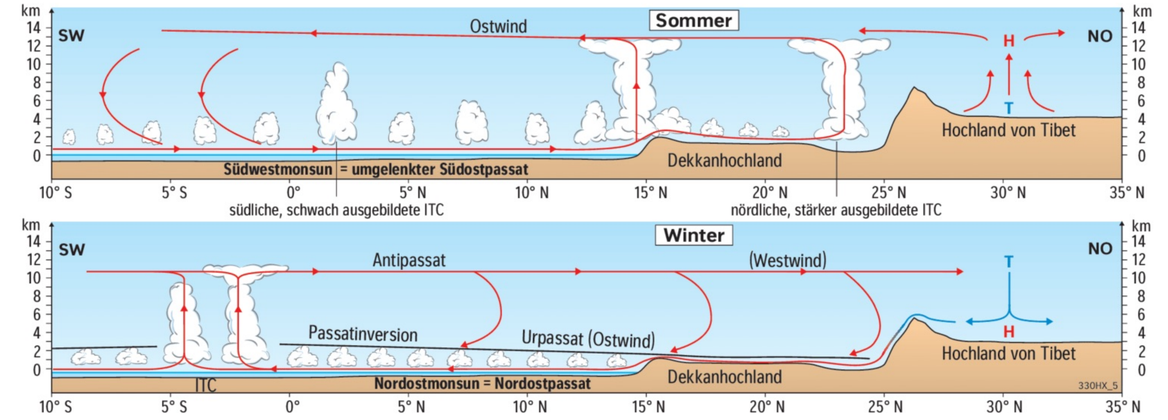
Ein **Monsun** ist ein jahreszeitlich wechselndes Windsystem, bei dem die Windrichtung sich um mehr als 120 Grad ändert. Der Begriff leitet sich vom arabischen Wort „mausim“ ab und bedeutet „Jahreszeit“.
Einen massiven Einfluss übt der Monsun auf Südasien aus. Im Sommer wird der Südostpassat nach dem Überschreiten des Äquators in nordöstliche Richtung abgelenkt (Coriolis-effekt, M4). Es entsteht der Sommer- bzw. Südwestmonsun. Dieser nimmt große Mengen an Wasserdampf über dem Indischen Ozean auf und wird durch ein mächtiges Tiefdruckgebiet über dem asiatischen Festland angezogen. An Land setzt die Konvektion schnell ein und es kommt zu heftigen Niederschlägen, insbesondere im Zusammenhang mit Steigungsregen in den Luv-Bereichen von Küsten und Gebirgen. In den Wintermonaten wandert die ITC nach Süden, überschreitet aber nur minimal den Äquator. Der indische Subkontinent ist nun im Einfluss des Nordostmonsuns, welcher dem Nordostpassat entspricht. Durch die starke Abkühlung Innerasiens entsteht ein Kältehoch, aus dem die Luft über das Himalayagebirge nach Indien ausströmt. Beim Absinken in das Gangestal erwärmt sich die Luft und die relative Luftfeuchte sinkt.

AUFGABEN

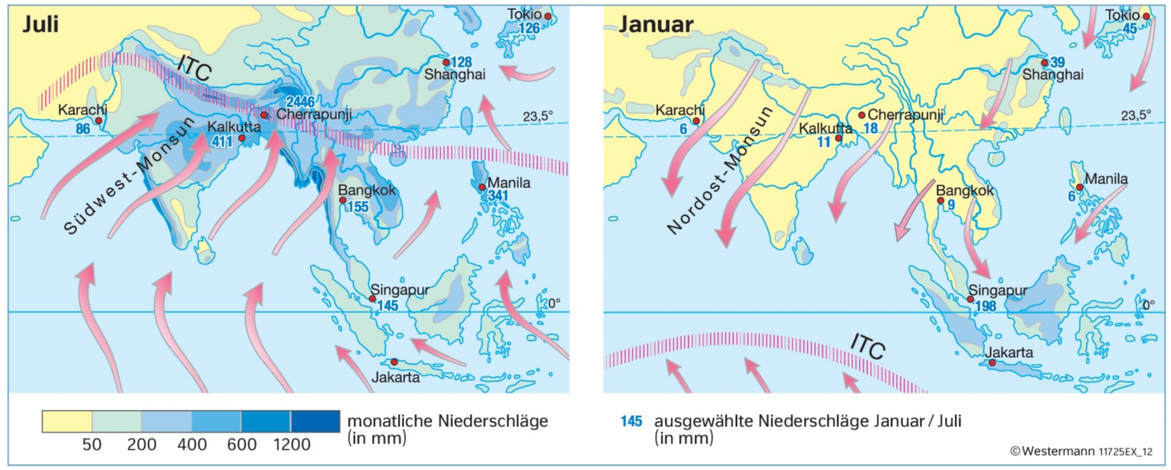
1. Beschreiben Sie die in M1 dargestellten Situationen.
2. a) Werten Sie das Klimadiagramm in seinem Jahresgang und den jeweiligen Extremwerten aus (M2).
   b) Erklären Sie das Klima Cherrapunjis im Hinblick auf die Monsunzirkulation (Text, M3, M4).
   c) Geben Sie weitere Gründe dafür an, dass Cherrapunji einer der niederschlagsreichsten Orte der Welt ist (M3, M4, Atlas).
3. Charakterisieren Sie mithilfe einer Recherche den „ostasiatischen Monsun“ (M4, Atlas, Internet, ▸ S. 228).
4. Definieren Sie anhand von M5 den Begriff der „Monsunvariabilität“ und erstellen Sie eine Mindmap zu diesem Phänomen (▸ S. 225).



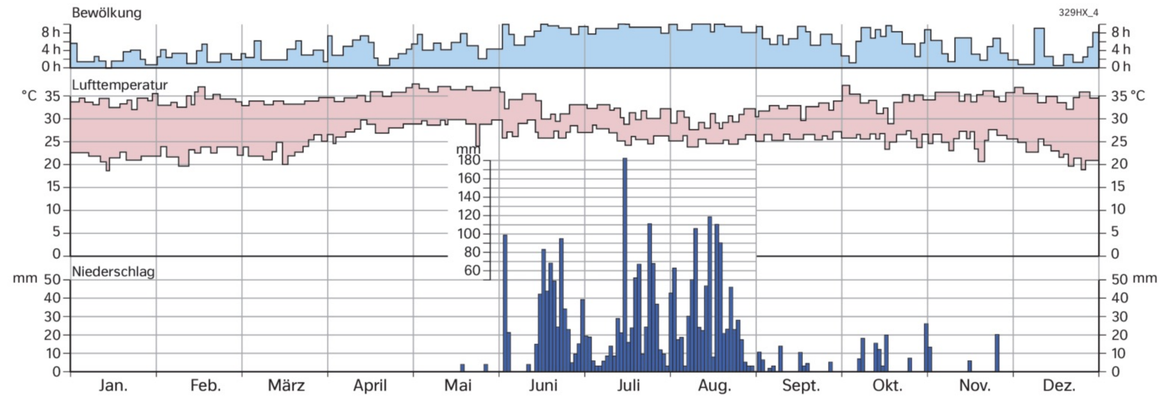
M2 Klimadiagramm von Cherrapunji



M3 Tropische Monsunzirkulation in Südasien



M4 Sommer- und Wintermonsun



M5 Typischer Wetterablauf des Monsunklimas im indischen Bundesstaat Goa (Westküste) (▸ S. 217)

E↑ Die Folgen des Monsuns

Der Monsun ist für die Menschen in den betroffenen Ländern Segen und Fluch zugleich. Gerade für die Landwirtschaft hat er deutliche Auswirkungen. Durch die globale Erwärmung wandelt sich der Monsun, was einschneidende Folgen für die lokale Bevölkerung bedeuten kann. Eine Expertin für den gegenwärtigen Klimawandel gibt Auskunft über den aktuellen und möglichen zukünftigen Einfluss des Monsuns auf den indischen Subkontinent.

M1 Bilder zum Monsun

Eine ganze Nation, die sehnsüchtig auf Regen wartet. Trifft diese Vorstellung von Indien vor dem Sommermonsun zu?
Rixa Schwarz: Man kann den Monsun als Lebensader Indiens bezeichnen, denn ein Großteil der indischen Landwirtschaft hängt von ihm ab. Nicht nur die indischen Bauern verfolgen gespannt, wann die ersten dunklen Wolken an der Südwestküste den lang ersehnten Regen bringen, um ihre Aussaat entsprechend zu planen. Auch im Finanzministerium in Delhi hofft man auf die richtige Menge Regen zur richtigen Zeit, um möglichst hohe Erntegewinne für die Versorgung der Bevölkerung und für den Export sicher zu wähnen. Damit ist der Monsunregen weit mehr als die gewünschte Abkühlung im heißen indischen Sommer.

Was weiß man inzwischen über den Einfluss des rezenten Klimawandels auf den Monsun?
Der Klimawandel ist neben der starken Luftverschmutzung über Nord- und Nordwestindien einer der ausschlaggebenden Faktoren, der das sehr sensible System des indischen Sommermonsuns verändert. Aufgrund der besonderen Komplexität des Monsunsystems sind sichere Zukunftsszenarien allerdings schwierig. Jüngste Forschungsergebnisse zeigen, dass der Monsun keine sprunghaften Veränderungen machen wird. Dennoch ist zu erwarten, dass sich immer stärkere Dürreperioden und regenreichere Jahre mit Starkregen und Überflutungen abwechseln werden und die Anpassung daran über die Jahre immer herausfordernder werden wird.

Wie hat sich das in den letzten Jahren gezeigt?
In den vergangenen Jahren erlebte Indien eine Abschwächung des Monsuns. 2012 beispielsweise lagen die Regenfälle im Punjab, Indiens Kornkammer, nur bei etwa 70 Prozent der normalen Regenmenge. Auch 2015 blieb die Regenmenge weit hinter dem Durchschnittswert zurück. Der Regen fiel aber auch für Monsunverhältnisse verstärkt in unwetterartigen Niederschlägen, die vermehrt Verkehrsunfälle und andere Unglücke wie Erdrutsche verursachten, bei denen viele Menschen starben. Besonders die Folgen eines schwachen Monsuns sind vielfältig. In den vergangenen Jahren las man in den Zeitungen regelmäßig in den Sommermonaten von drohenden Engpässen in der Nahrungsmittelversorgung, über Preiserhöhungen einzelner Grundnahrungsmittel wie Weizen, Linsen oder Reis oder auch von Exporteinschränkungen. In längeren Dürreperioden kann sich die Wasserknappheit auch auf die Stromversorgung auswirken. Wenn Wasserkraft nicht mehr die gewohnte Stromleistung liefern kann und die Hitze im indischen Sommer den Stromverbrauch durch den erhöhten Einsatz von Klimaanlagen ansteigen lässt, kann es zu Stromausfällen kommen.

Wie wirken sich diese Änderungen im Monsun auf den Einzelnen, zum Beispiel den indischen Landwirt, aus?
Bereits heute leiden die Menschen in Indien unter den verstärkten Schwankungen der Monsunregenfälle, obwohl der rezente Klimawandel seine Auswirkungen auf den Monsun noch nicht in vollem Ausmaß zeigt. Unter den am stärksten Betroffenen sind die Ärmsten der Bevölkerung wie Obdachlose und Slumbewohner in den Städten oder Landlose und Familien von Kleinbauern auf dem Land.
Kleinbauern machen mit 93 Millionen Höfen den Großteil der indischen Landwirte aus. Sie leben von Subsistenzwirtschaft, versorgen sich und ihre Familien auf höchstens zwei Hektar Landfläche also ausschließlich selbst, ohne Zugang zu moderner Infrastruktur wie Bewässerung zu haben. Ein pünktlicher Monsun mit nicht zu starken Regenfällen, der Getreide und Gemüse wachsen lässt, ist essenziell für ihre Versorgung. Kleinbauern sind die Ersten, die bei Dürren von Hungersnöten betroffen sind, da sie kein oder kaum Geld besitzen, um Nahrungsmittel zu erwerben.
Fällt der Niederschlag wiederum als zu heftiger Starkregen, kann zumindest ein Teil der Ernten weggeschwemmt oder zerstört werden, was die Versorgung der Familien ebenso gefährdet. Ein schwankender Monsun kann daher leicht eine riesige Anzahl Familien in die Verschuldung stürzen, die bereits heute mehrere Tausend indische Bauern jährlich in den Suizid treibt. Nichtregierungsorganisationen (NRO) wie das CEE versuchen, die Kleinbauern für ihre Selbstversorgung auch unter Einfluss des Klimawandels zu rüsten.

Hat die indische Regierung schon auf den Klimawandel reagiert?
Die indische Regierung hat 2008 ihren Nationalen Aktionsplan zum Klimawandel vorgestellt, der neben Klimaschutzmaßnahmen auch Pläne zur Anpassung an den Klimawandel vorsieht. Zusammen mit einer Vielzahl anderer Gesetze und Richtlinien wie der nationalen Mission zur nachhaltigen Landwirtschaft versucht sich Indien gegen heutige und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels zu wappnen. Diese Politik greift gemeinsam mit Initiativen zum Katastrophenmanagement, zur Arbeitsplatzbeschaffung für die ländliche Bevölkerung und zum Bodenschutz für eine resilientere Landwirtschaft.

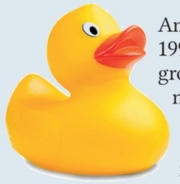
Wie kann sich die Landwirtschaft denn auf die Veränderungen einstellen?
Traditionell beherrscht Indien eine Reihe von Maßnahmen zum Wassermanagement und versucht nun, traditionelles Wissen mit moderner Technologie zu verknüpfen, um die Techniken zu optimieren.
Viele NRO sind in Dörfern, aber auch in armen Stadtgebieten aktiv, um die ärmeren Bevölkerungsschichten in ihren Bemühungen zu unterstützen. Gemeinsam mit Landwirten versuchen sie beispielsweise, die Regengüsse während des Monsuns beim schnellen Abfließen aufzuhalten, das Wasser im Boden zu speichern und Bodenerosion zu mindern, indem sie kleinere Wälle und größere Dämme in die hügeligen Landschaften bauen. Diese einfache, aber effektive Praxis wird im Wüstenstaat Rajasthan ebenso wie im zentralindischen Maharashtra und Mudhya Pradesh genutzt. Auch auf Dächern wird Wasser nach alter Tradition wieder zunehmend aufgefangen und im Haushalt oder zur Bewässerung in der Landwirtschaft genutzt. Bewässerungssysteme wie die Tröpfchenbewässerung werden effektiver gestaltet.
Meteorologische Informationen erreichen Landwirte immer zuverlässiger, sodass sie Saat und Ernte entsprechend der Vorhersagen planen können. Gerade Reis, der in gefluteten Feldern angebaut wird, ist stark vom richtigen Timing abhängig. Die Wahl der Reissorte oder auch anderer Getreidesorten entsprechend der Monsunprognosen kann für den Ernteertrag entscheidend sein. In vielen Regionen Indiens werden regelmäßig lokale Radiosendungen eigens für Anpassungsmethoden und stärkere Resilienz gegenüber dem Klimawandel gesendet.

Rixa Schwarz ist Referentin für Klima und Sicherheit bei Germanwatch und Programmkoordinatorin „Klimawandel" am Centre for Environment Education India, CCE (Zentrum für Umweltbildung).

M2 Experteninterview

AUFGABEN

1. Formulieren Sie zu den drei Bildern jeweils einen Satz, der auch im Zusammenhang mit dem Klima bzw. dem Monsun steht (M1).
2. Erklären Sie die grundsätzliche Bedeutung des Monsuns für die indische Bevölkerung (M1, M2).
3. Stellen Sie die Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf den Sommermonsun und auf die Landwirtschaft Indiens in einem Wirkungsgefüge dar (M2).
4. Nennen und beurteilen Sie die in M2 angesprochenen Maßnahmen einer nachhaltigen Raumnutzung in Zeiten des rezenten Klimawandels.



Am 10. Januar 1992 geriet ein großes Containerschiff auf dem Weg von Hongkong nach Seattle im Nordpazifik in ein schweres Unwetter. Dabei verlor es im Bereich der Datumsgrenze einen Teil der Fracht: ca. 30 000 Kunststofftiere, vorwiegend gelbe Plastikenten. Das ist zwar ein Unglück für das Frachtunternehmen, jedoch ein Glück für die Forschung.

M1 ***Friendly Floatees***

AUFGABEN

1 Stellen Sie Vermutungen an, was mit den *Friendly Floatees* nach dem Unwetter geschehen ist und inwiefern diese ein Glück für die Forschung darstellen (M1).

2 Beschreiben Sie die globalen Meeresoberflächentemperaturen im Juli und erklären Sie diese (M2).

3 Erstellen Sie ein beschriftetes Schaubild zum *Downwelling* im Rahmen der thermohalinen Zirkulation.

4 Erklären Sie anhand von in M3 dargestellten Strömungsverhältnissen das marine Förderband.

5 a) Bestimmen Sie mit Fachbegriffen grundlegende Wind- und Strömungsverhältnisse, mit denen Magellan/Elcano bei der ersten Weltumsegelung zu tun hatten (M3, M4, Atlas).
b) Planen Sie eine Route für eine eigene Weltumseglung von Kiel aus (M3, M4, Atlas). Begründen Sie Ihre Wahl.

Die ozeanische Zirkulation – Was treibt das marine Förderband an?

Die riesigen Wassermassen der Weltmeere werden durch ein sogenanntes marines Förderband bewegt. Was treibt dieses an? Und welche Strömungen entstehen dabei?

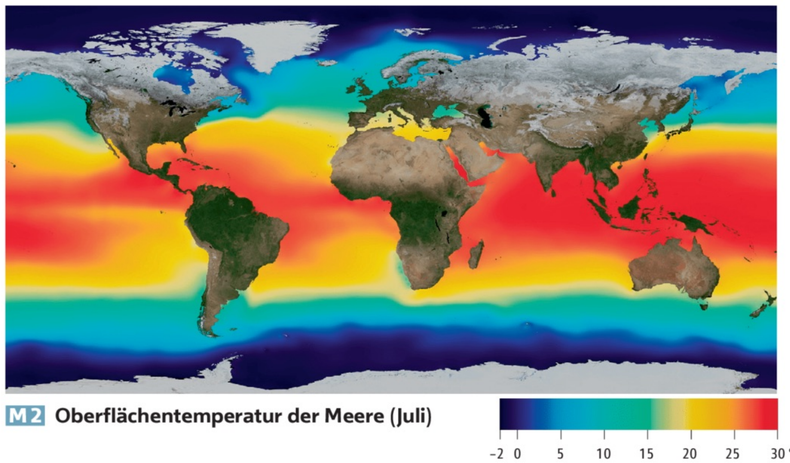
Die *Friendly Floatees* (M1) wurden nach dem Schiffsunglück an den Westküsten Nord- und Südamerikas, in Australien und Indonesien, später aber auch nahe New York, in Grönland und auf den Britischen Inseln gefunden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können durch die jeweiligen Funde weitere Aufschlüsse über den komplexen Verlauf von Meeresströmungen gewinnen.

Die Wassermassen der Ozeane werden durch drei wesentliche Antriebsmotoren in Bewegung versetzt: Gezeitenkräfte, Winde und die thermohaline Zirkulation.

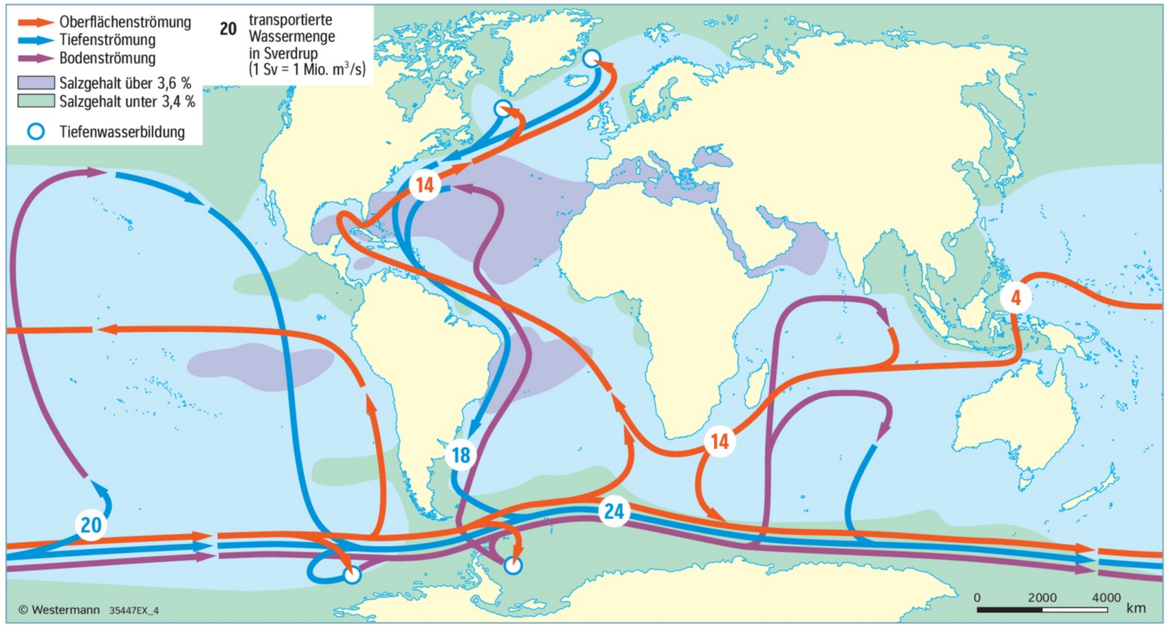
Durch Erdrotation sowie durch die Gravitation von Sonne und Mond entstehen Gezeitenkräfte, die das zyklische Abfallen und Ansteigen des Wasserspiegels (Ebbe und Flut) verursachen. Würde die Erde von einem einzigen Ozean bedeckt sein, so würden Gezeitenwellen die Erde periodisch umlaufen. Die Kontinente stellen eine natürliche Barriere für das Wasser dar. Die tatsächliche Pegelamplitude bei Gezeiten, also der Unterschied zwischen Niedrig- und Hochwasser, hängt von zahlreichen Faktoren wie der Form des Festlandes, der jeweiligen Wassertiefe und der Wirkung des Corioliseffekts ab.

Wesentlich für die Meeresströmungen sind Winde und die thermohaline Zirkulation: Die globalen Windsysteme bewegen die oberen Schichten des Meerwassers innerhalb der durch Landmassen gesetzten Grenzen und beeinflussen die horizontalen Oberflächenströmungen. So treiben die Westwinde oberflächennahe Wassermassen tendenziell nach Osten, während die Passate eher für eine Wasserbewegung gen Westen sorgen. Daneben existieren Tiefenströmungen, die oft eine andere Strömungsrichtung aufweisen. Beide Strömungsarten stehen in Form der **thermohalinen Zirkulation** in Verbindung.

Dieses marine Förderband ist angetrieben durch Dichteunterschiede des Wassers. Da dichtes Wasser schwerer ist als weniger dichtes Wasser, sinkt es ab. Dabei ist die Dichte abhängig von der Temperatur („thermo“) sowie dem Salzgehalt bzw. der Salinität („halin“). Kälteres Wasser ist durch eine erhöhte Dichte (mit einem Maximum bei 4 °C) geprägt. Warme Oberflächenströmungen, die aus äquatornahen Gebieten in subpolare Bereiche gelangen, kühlen sich ab und sinken (***Downwelling***). Es entstehen



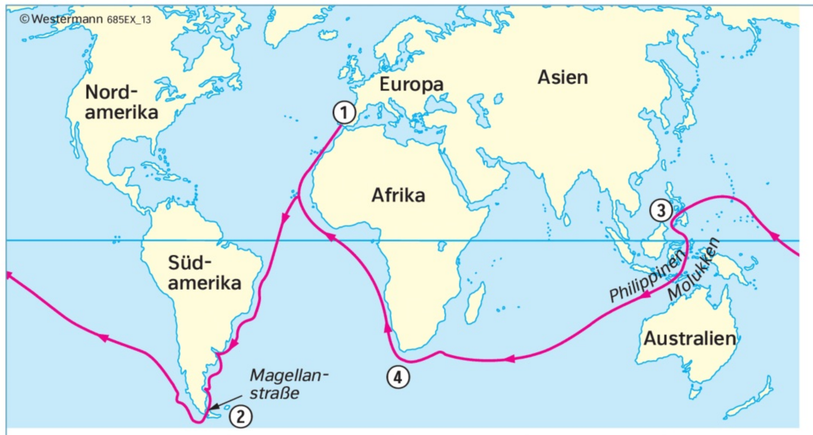
M2 **Oberflächentemperatur der Meere (Juli)**



M3 **Das marine Förderband**

Tiefenströmungen. Das Absinken wirkt an der Oberfläche wie ein Sog, sodass die Strömung beständig angetrieben wird. In anderen Gebieten, in denen durch konstante Windsysteme Oberflächenwasser verlagert wird, ist wiederum ein Sog für das Tiefenwasser vorhanden. Dieses steigt auf (***Upwelling***) und erwärmt sich mit zunehmender Nähe zum Äquator.

Ermöglicht wird die ozeanische Zirkulation ferner durch Unterschiede in der Salinität, da auch salzhaltiges Wasser dichter und somit schwerer ist. Durch die Verdunstung nimmt bei Oberflächenwasser der Salzgehalt zu. Hinzu kommt die Eisbildung in subpolaren Gebieten, bei der kein Salz aufgenommen wird, sodass die Salinität des Meerwassers erhöht ist.

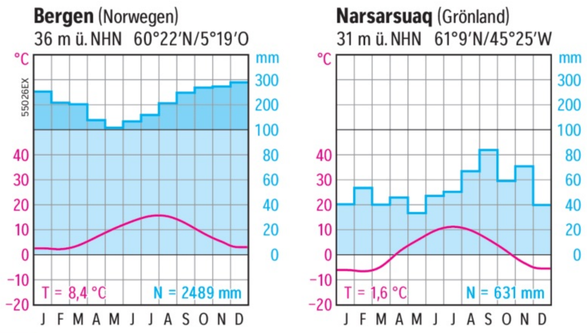


Von 1519 bis 1522 fand die erste belegte Weltumrundung zur See statt. Der portugiesische Seefahrer Ferdinand Magallan trat an, um eine ökonomisch lukrative Westroute zu den Gewürzinseln im Bereich des heutigen Indonesiens zu finden. Nach seinem Tod auf der Insel Mactan, die heute zu den Philippinen gehört, führte Juan Sebastian Elcano die Reise zu Ende. Es folgten weitere, teils ebenso abenteuerliche Weltumsegelungen wie die von Francis Drake (1577 – 1580). Im 20. und 21. Jahrhundert kam es zu zahlreichen Weltumsegelungen aus sportlichen oder touristischen Motiven. Den Rekord für eine Weltumrundung als Einhandsegler hält der Franzose François Gabart mit knapp 42 Tagen und 17 Stunden (Stand: 2023). Eine beliebte Route ist die sogenannte Barfußroute, die primär durch warme tropische und subtropische Gebiete führt.

M4 **Die Route der ersten Weltumrundung zur See durch Ferdinand Magellan und Juan Sebastian Elcano**

Der Nordatlantikstrom – Wie funktioniert die Warmwasserheizung Europas?

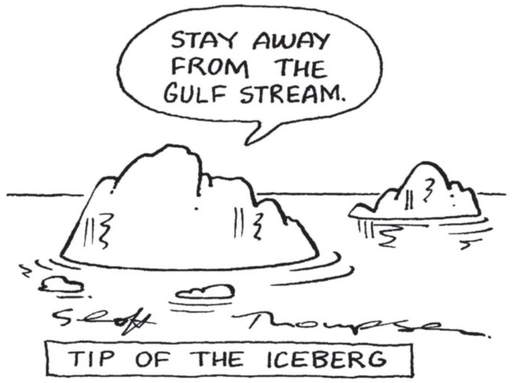
Der Nordatlantikstrom gilt als die Warmwasserheizung Europas. Durch die globale Erwärmung wird die Funktionsweise des Stromes im marinen Förderband allerdings beeinflusst.



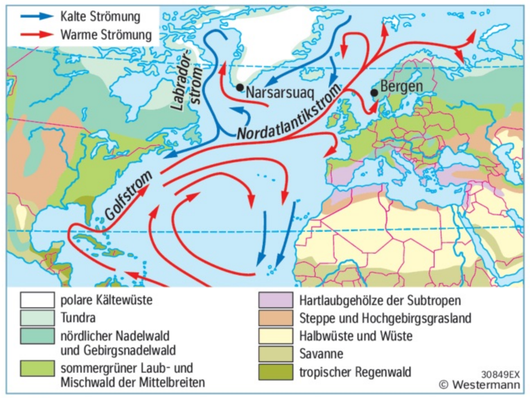
M1 **Klimadiagramme etwa auf 60° nördlicher Breite**

In keinem Gebiet der Erde reichen Siedlungen und landwirtschaftliche Nutzflächen so weit polwärts wie im Westen Norwegens. Dies ist dem Nordatlantikstrom zu verdanken. Als Teil des marinen Förderbandes und Verlängerung des Golfstroms bringt er warmes Oberflächenwasser aus der Karibik an die Westküste Europas.

Die globale Erwärmung kann zu problematischen Auswirkungen auf den Nordatlantikstrom führen. Gründe dafür sind veränderte Temperaturen sowie die Änderung der Salzkonzentration. Die Salinität des Nordatlantiks kann sich durch gesteigerte Niederschläge und vor allem durch das Schmelzen der Gletscher Grönlands deutlich reduzieren. Auch wenn ein plötzliches Versiegen des Nordatlantikstroms in naher Zukunft nicht zu erwarten ist, ist es möglich, dass die Warmwasserheizung Europas in Zukunft an Kraft verlieren könnte.



M2 **Karikatur**



M3 **Meeresströmungen im Nordatlantik**

AUFGABEN

1 Vergleichen Sie die Klimadiagramme der Stationen am 60°-Breitenkreis (M1) und stellen Sie Vermutungen an, worin die unterschiedlichen Klimate begründet liegen.

2 Beschreiben und begründen Sie die Oberflächentemperatur des Nordatlantiks. Vergleichen Sie dabei insbesondere die küstennahen Regionen vom 40°- bis 60°-Breitenkreis (M4).

3 Erläutern Sie die Wirkung des Nordatlantikstroms in verschiedenen Bereichen (Klima, Vegetation, Landwirtschaft, Tourismus) (Atlas).

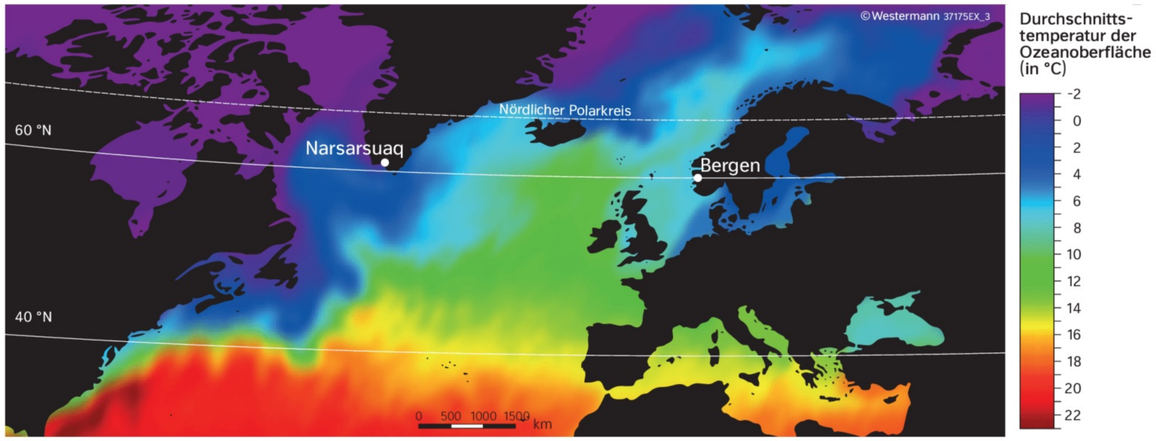
4 Erklären Sie, wie das Schmelzen von Gletschereis den Nordatlantikstrom beeinflussen kann.

5 Werten Sie die Karikatur (M2) unter Einbeziehung von M3 und M4 aus (▸ S. 234).

E↑ **6** Formulieren Sie wesentliche Erkenntnisse der in M5 dargestellten Studienergebnisse.

E↑ **7** a) Erläutern Sie ausgehend von M5 Schwierigkeiten bei der wissenschaftlichen Erstellung von Simulationen bzw. Prognosen.
b) Diskutieren Sie die Funktion bzw. die Bedeutung derartiger Prognosen.

E↑ **8** Entwickeln Sie Szenarien für ein verändertes Leben in Westeuropa bei einer starken Abschwächung des Nordatlantikstroms.



M4 **Durchschnittliche Oberflächentemperatur des Nordatlantiks**

„Fachleute bezeichnen die […] den gesamten Atlantik umspannende Umwälzbewegung als Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*, AMOC) […].

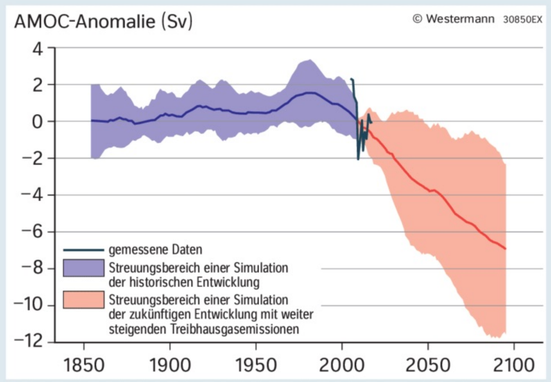
In einem Artikel im Fachmagazin *Nature Reviews Earth & Environment* zeigt jetzt ein Team von Fachleuten aus Deutschland, Großbritannien, Frankreich und den Vereinigten Staaten von Amerika, dass sich die Stärke der nordatlantischen Wasserwalze in einem natürlichen Rhythmus innerhalb von Jahrzehnten verändert [siehe Abb.]. Damit liefert die Arbeit einen wichtigen Beitrag zur vieldiskutierten Frage, ob die Verlangsamung der AMOC, die seit Ende der 1990er-Jahre stattfindet, auf den vom Menschen verursachten Klimawandel zurückzuführen ist. […].

‚Es gibt schon länger Anzeichen dafür, dass sich die AMOC verändert hat. Die Daten waren aber unsicher', erläutert Professor Dr. Arne Biastoch. Der Experte für Ozeanmodellierung am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel ist als Ko-Autor an der neuen Studie beteiligt. ‚In dem aktuellen Fachartikel haben wir erstmals die Ergebnisse vieler verschiedener Forschungsarbeiten zusammengetragen, darunter viele Messungen und Ergebnisse aus Computermodellen.' Die Analysen belegen, dass sich die AMOC in den vergangenen Jahrzehnten immer wieder abgeschwächt und verstärkt hat. Dies scheint vor allem Teil einer natürlichen Veränderung zu sein, die im Rhythmus mehrerer Jahrzehnte wiederkehrt. ‚Wir können auf Basis der bisherigen Ergebnisse derzeit allerdings noch nicht sagen, ob darunter bereits eine längerfristige Abschwächung liegt. Eine solche Abschwächung sagen alle Klimamodelle als Folge des vom Menschen verursachten Klimawandels für die Zukunft voraus', betont Professor Biastoch.

Am GEOMAR hat ein Team um Professor Biastoch in den vergangenen Jahren mit dem komplexen Computermodell VIKING20X gearbeitet, das die Strömungen und Hydrographie im Atlantik simuliert. Es berücksichtigt Hunderte von Einstellgrößen, um die gigantische Umwälzbewegung im Nordatlantik überhaupt fassen zu können. Da bereits ein einziger falsch eingestellter Parameter die Darstellung beeinträchtigen kann, galten die Ergebnisse von AMOC-Simulationen in der Vergangenheit als unsicher. Heute haben sie dank größerer Rechenleistung eine höhere Auflösung und können dadurch mehr Details darstellen […] ‚Es ist enorm wichtig, die Vermischung des Wassers in diesen Wirbeln fein aufzulösen. Sonst gibt das Modell ungenaue Daten über die Geschwindigkeit und Temperatur des Wassers aus', erklärt Professor Biastoch. Auch haben sich die Qualität der Computercodes und die wachsende Menge an verfügbaren Eingabedaten in VIKING20X stark verbessert.[…]

Zur weiteren Verbesserung der Modellsimulationen und der Vorhersage von Klimawandel bedingten Veränderungen hoffen Professor Biastoch und sein Team auf zusätzliche Messdaten zu Strömung und Hydrografie aus allen Regionen des Atlantiks."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255



E↑ **M5** **Neue Erkenntnisse zu Schwankungen im atlantischen Strömungssystem** (▸ S. 50)

M1 Blütenmeer Atacama-Wüste

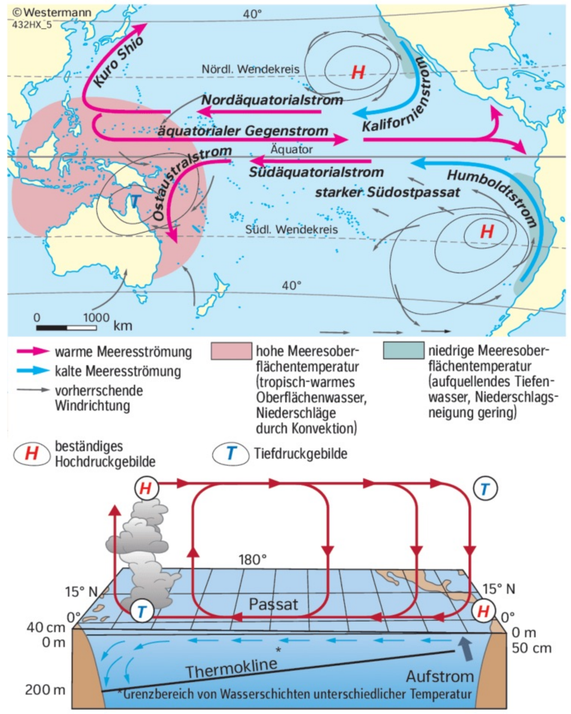
Das ENSO-Phänomen

El Niño (spanisch für das Kind, gemeint ist das Christkind), so nennen die Menschen in Peru ein unregelmäßig im Dezember beginnendes Wetterphänomen, das die südamerikanische Küstenregion wie auch Teile des ozeanisch-südostasiatischen Raumes und andere Gebiete massiv beeinflusst.

Die Südostpassate sorgen im Südpazifik dafür, dass warmes Oberflächenwasser nach Westen in Richtung Ozeanien und Asien transportiert wird. Aufgrund der Wärme entsteht dort ein oberflächennahes Tiefdruckgebiet, während das nachströmende kalte und sehr nährstoffreiche Wasser aus den unteren Bereichen des Ozeans für ein entsprechendes Hochdruckgebiet vor der Küste Südamerikas verantwortlich ist. Dies stellt den Grundstein für die **Walker-Zirkulation** dar, den Normalzustand dieses regionalen Klimas (M2).
Aus noch nicht umfangreich geklärten Gründen kommt es in unregelmäßigen Abständen, etwa alle vier bis neun Jahre, dazu, dass sich die Südostpassate abschwächen. Dies sorgt für ein Aussetzen der warmen Oberflächenströme Richtung Westen, was wiederum das Nachströmen des kalten Tiefenwassers einschränkt. Mehr noch, in dieser mehrere

AUFGABEN

1. Die Atacama ist eines der trockensten Gebiete der Erde. Stellen Sie Vermutungen zur Entstehung des in M1 dargestellten Phänomens an.
2. Beschreiben Sie die Walker-Zirkulation (M2).
3. Erläutern Sie die ENSO-Situation (M4, Text).
4. E↑ Arbeiten Sie die globalen Auswirkungen von El Niño differenziert heraus (M5, M6, Atlas).
5. E↑ Stellen Sie die Auswirkungen von El Niño für die lokale peruanischen Bevölkerung in einem Wirkungsgefüge dar (M1 – M6, ▸S. 225).

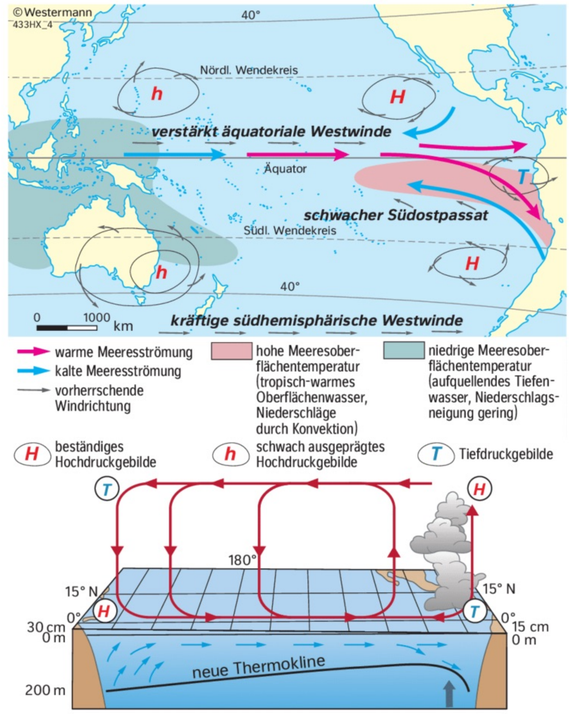


M2 Walker-Zirkulation (Normalsituation)

Monate andauernden **El-Niño**-Situation (ENSO, *El Niño Southern Oscillation*) kehrt sich die Walker-Zirkulation gänzlich um, sodass ein oberflächennahes Tiefdruckgebiet vor der Westküste Südamerikas entsteht – und ein entsprechendes Hochdruckgebiet im asiatisch-ozeanischen Raum (M4).
Als „kalte Schwester" von El Niño gilt La Niña, ein Phänomen, das meist im Anschluss des Bruders auftritt und eine intensivierte Walker-Zirkulation mit starker Abkühlung des Meeres vor der Westküste Südamerikas bedeutet.

Das antarktische, kalte Auftriebswasser vor der Westküste Südamerikas ist sehr nährstoff- und damit planktonreich. Der Humboldtstrom gehört dadurch zu den fischreichsten Gebieten der Erde. Hier kommt weltweit der meiste Fisch pro Flächeneinheit vor, sodass ca. 18 bis 20 Prozent des weltweiten Fangs an Meeresfisch möglich sind. Der Fischreichtum führt zu einer ausgeprägten Fischereiwirtschaft und ist für eine große Population von marinen Meeressäugern (Robben und Wale) und auch Seevögeln verantwortlich.
In einem El-Niño-Jahr schwächt sich der kalte Humboldtstrom ab, was einen Zusammenbruch der Nahrungsketten und ein Abwandern der Fischschwärme nach sich zieht. Dies ist wiederum mit großen ökonomischen Auswirkungen für die Fischereiwirtschaft verbunden.

E↑ **M3** El Niño und Fischerei



M4 El-Niño-Situation

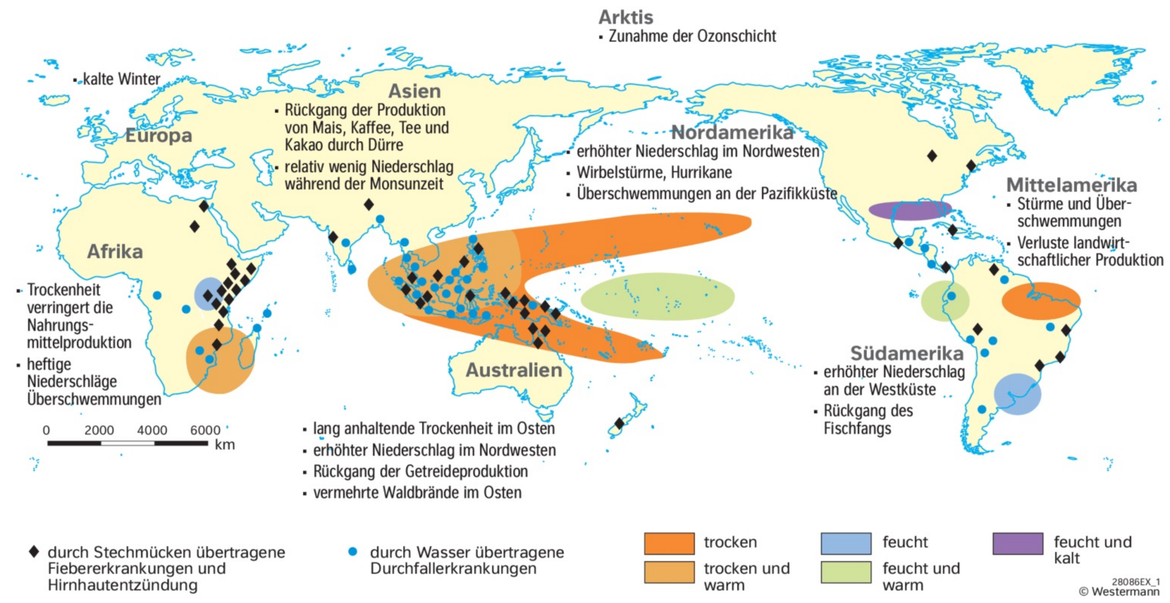
„Die zum Teil katastrophalen Auswirkungen eines El Niño sind sowohl regional als auch global zu beobachten. Die Fischer an der peruanischen Küste bekommen die Folgen des El-Niño-Ereignisses durch sinkende Erträge unmittelbar zu spüren. Aber nicht nur Fische leiden unter den gestiegenen Temperaturen.

Korallen reagieren beispielsweise äußerst empfindlich auf Veränderungen der Meerestemperatur. Durch das wärmere Meerwasser während des El-Niño-Jahres 1982/83 starben 90 Prozent der Korallen im Ostpazifik. Als Folge der dezimierten Fischbestände wanderten auch viele fischfressende Vögel ab. Allein in Peru gingen bis zu 85 Prozent der Seevögel ein.
[…]

In Australien, Indonesien und dem südlichen Afrika verursacht El Niño Dürreperioden mit katastrophalen Auswirkungen für die Landwirtschaft. Dagegen ertrinkt die tropische Pazifikküste Südamerikas im Regen. Erdrutsche und Schlammlawinen begraben ganze Ortschaften. Auch in Regionen, die normalerweise sommerliche Trockenperioden aufweisen, regnet es häufiger, etwa im Süden und Südwesten der USA, im südlichen Südamerika, in Ostafrika und dem westlichen Pazifik. […]"

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

E↑ **M6** Auswirkungen von El Niño



E↑ **M5** Globale Auswirkungen von El Niño

„Jeder Winter ist in Grönland hart, doch mit Unterschied. Die Dänen haben bemerkt, dass, wenn der Winter in Dännemark strenge gewesen ist, so ist der grönländische nach seiner Art gelinder gewesen, und umgekehrt."

M1 Winter in Nuuk (Grönland) und Auszug aus Hans Egede Saabyes Tagebuch (1817)

E↑ Exkurs: Die Nordatlantische Oszillation

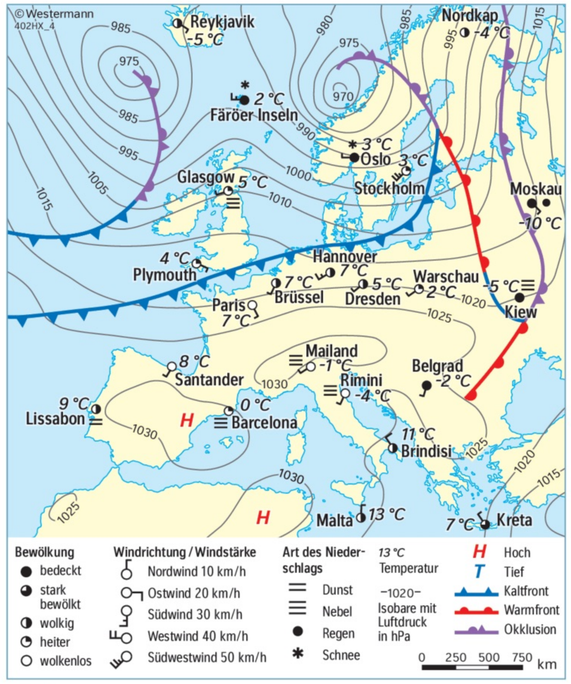
Hans Egede Saabye war ein dänischer Missionar und verbrachte eine längere Zeit Ende des 18. Jahrhunderts auf Grönland. Er unternahm verschiedene ethnologische, botanische und auch klimatische Studien und entdeckte dabei eine Wetteranomalie, die auch heute das europäische Wetter beeinflusst.

Das Wetter in Europa ist von zwei relativ konstant vorhandenen Druckgebilden im Nordatlantik geprägt: dem Azorenhoch und dem Islandtief. Beide können in ihrem Umfang und ihrer Lage variieren. Das **Azorenhoch** entsteht im Zusammenhang mit dem subtropischen Hochdruckgürtel und kann im Sommer zu warmem, sonnigem Wetter in Europa führen. Das **Islandtief** ist Teil eines Tiefdruckgebiets im Norden der planetarischen Frontalzone (▸S. 24/25). Wichtig für dessen Entstehung ist das Zusammentreffen der polaren Kaltluft und der warmen Nordatlantikströmung. Das Islandtief sorgt, angetrieben durch die Westwinddrift, im (Nord-)Westen Europas oft für kühles und feuchtes Wetter.

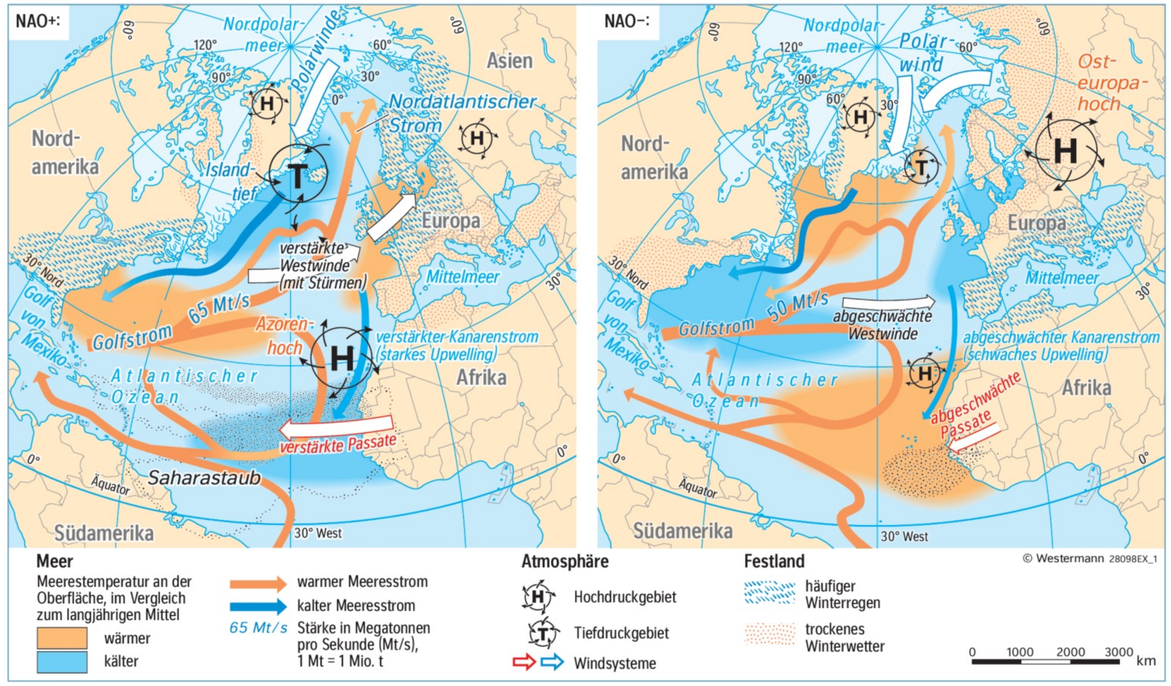
Der Luftdruckunterschied zwischen dem Hoch- und Tiefdruckgebiet prägt die Großwetterlage Europas entscheidend mit. Dieser Unterschied ist besonders in den Wintermonaten ausgeprägt und kann auch über die Jahre hinweg deutlich schwanken. Die Schwankung wird als **Nordatlantische Oszillation (NAO)** bezeichnet und mithilfe des sogenannten *Nord-Atlantic-Oscillation-Index* beschreiben. (Indizes sind Ziffern, die sich aus der Kombination verschiedener Werte errechnen lassen.) So ergibt sich der NAO-Index aus der Kombination von langjährigen Mittelwerten und aktuellen Messdaten zum Luftdruck an Klimastationen im südlichen und nördlichen Nordatlantik (M6). Ein positiver Index gibt hohe Luftdruckunterschiede, ein negativer Index vergleichsweise geringere Unterschiede an (M4).

AUFGABEN

1. Beschreiben Sie die Aussage Hans Egede Saabyes und stellen Sie Vermutungen über mögliche klimageographischen Hintergründe an (M1).
2. a) Beschreiben Sie die in der Karte M2 dargestellte Luftdrucksituation.
   b) Erstellen Sie einen Wetterbericht, mit dem Sie das in M2 dargestellte Wetter beschreiben und erklären. Tragen Sie diesen unter Verwendung von M2 im Anschluss vor.
3. Charakterisieren Sie die NAO (M3 – M5, Atlas).
4. Recherchieren Sie die aktuellen Luftdruckwerte für Porta Delgada und Reykjavik (▸S. 228) und berechnen Sie den NAO-Index (M6). Setzen Sie diesen in Kontext zur Graphik (M5).
5. Erklären Sie, warum zum Beispiel der Dezember 2009 in Deutschland besonders kalt und schneereich war (M3, M4).



M2 Beispiel einer Bodenwetterkarte im Januar (▸S. 123)



M3 Phasen der Nordatlantischen Oszillation, jeweils im Winter

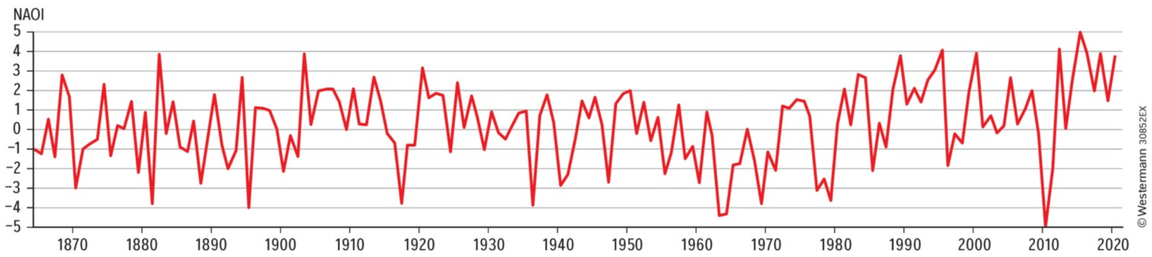
NAO+: Bei einem positiven NAO-Index sind die Hoch- und Tiefdruckgebiete stärker ausgeprägt (hoher Luftdruck im Hoch, tiefer Luftdruck im Tief) und es ergeben sich starke (West)Winde. Aufgrund der verstärkten Westwinddrift stehen der Norden und Westen Europas im Winter unter einem größeren Einfluss atlantischer Meeresluft und es dominieren dort feuchte und vergleichsweise milde Witterungen. Im Bereich Grönlands hingegen sinkt die Temperatur deutlich.
NAO –: Bei einem negativen NAO-Index sind Druckgegensätze schwach ausgeprägt. Die Westwinde verlieren im Bereich von Nord- und Mitteleuropa an Fahrt, der Polarfront-Jetstream verläuft weiter südlich und es dominieren häufig trockenere und kältere Witterungen.

M4 Auswirkungen von NAO+ und NAO –

	Porta Delgada (Azoren)	Reykjavik (Island)
langjährige Mittelwerte		
Luftdruck (PM)	1025 hPa	995 hPa
Standardabweichung (σ)*	3 hPa	4 hPa
konkrete Messdaten		
aktueller Luftdruck (P)	1031 hPa	990 hPa
Berechnung des NAO-Index		
Druckanomalie (PA = P – PM)	1031 hPa – 1025 hPa = 6 hPa	990 hPa – 995 hPa = – 5 hPa
Druckquotient (PQ = PA / σ)	6 hPa / 3 hPa = 2	– 5 hPa / 4 hPa = – 1,25
NAO-Index	**PQ (Azoren) – PQ (Island) = 2 – (– 1,25) = 3,25**	

* Maß für die Streubreite der Werte eines Merkmals rund um dessen arithmetisches Mittel

M6 Beispiel zur Berechnung des NAO-Index



M5 Mittlerer NAO-Index (NAOI) für die Wintermonate Dezember bis Februar (1825 – 2020)

M1 Am Tsanfleurongletscher in der Schweiz

E↑ Natürliche Klimaveränderungen

Klimageschichtlich ist es unumstritten, dass sich das Klima von jeher gewandelt hat (M4). So sind Moränen und Seen im Voralpenland Zeugen von Eiszeiten. Doch welche natürlichen Faktoren verursachen Klimaschwankungen und in welchen Zeiträumen erfolgen diese?

Generell ist das Klima der Erde ein komplexes, aber dennoch relativ stabiles System. Die **Strahlungsbilanz** aus der Sonnenein- und -ausstrahlung ist insgesamt ausgeglichen. Durch Treibhausgase in der Atmosphäre entsteht ein natürlicher Treibhauseffekt (▸ S. 13), der Leben auf der Erde erst möglich macht. Die Durchschnittstemperaturen schwanken dabei in Grenzen – erst wenn sich Komponenten der Strahlungsbilanz ändern, verändert sich das Klima.

AUFGABEN

1. Die Entstehung des Sees war Grund für eine Schlagzeile im August 2022. Stellen Sie Vermutungen zu den Gründen an (M1).
2. Das Klima unterliegt nach wissenschaftlichen Erkenntnissen schon immer Schwankungen.
   a) Beschreiben Sie die natürlichen Schwankungen des Klimas und benennen Sie Auffälligkeiten (M4).
   b) Erläutern Sie natürliche Ursachen von Klimaschwankungen. Unterscheiden Sie dabei terrestrische von extraterrestrischen Ursachen (M2, M5).
   c) Erörtern Sie, welche natürlichen Ursachen die heutige Klimaerwärmungen begünstigen könnten.
3. Forscherinnen und Forscher versuchen mittels Klimaarchiven Klimate der vergangenen Zeiten zu erschließen. Diskutieren Sie Möglichkeiten und Grenzen des Vorgehens (Text, M3 – M6, Internet).

Ursachen natürlicher Klimaveränderungen

Neben extraterrestrischen Ursachen (M2, M5), wodurch mehr bzw. weniger Strahlungsenergie die Erde erreicht, haben verschiedene terrestrische Faktoren Einfluss auf das Klima. Langfristig verändern zum Beispiel eine Verschiebung der Kontinente (▸ S. 158/159) oder Gebirgsbildungen das Ausmaß der Flächen, welche von Schnee und Eis bedeckt sind und somit den Umfang der Rückstrahlung (Albedo). Gebirgsbildungen können auch Luftmassenströmungen verändern, Kontinentalverschiebungen Meeresströmungen umlenken oder abschneiden.
Vulkanausbrüche, wie zum Beispiel der des Pinatubo (Philippinen) 1991, sind in der Lage, durch Aschewolken die Einstrahlung der Sonne zu mindern oder zu unterbinden, sodass das Klima in einer Region kühler wird (1991 durchschnittlich um etwa 0,5 °C weltweit) – mit zum Teil deutlichen Auswirkungen auf die Ernte in der Landwirtschaft. Auch kurzfristig können sich Meeresströmungen verändern, wie das Beispiel El Niño (▸ S. 36/37) zeigt.

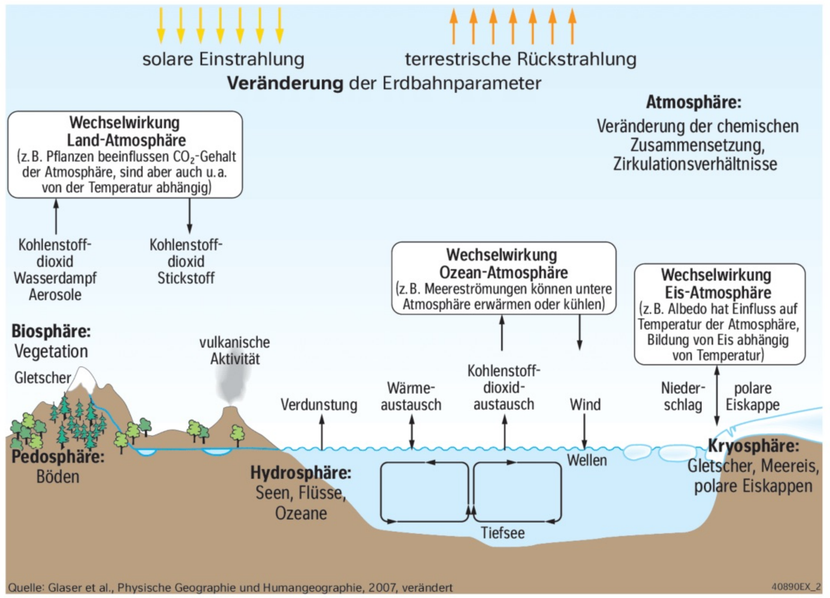
Rekonstruktion des Klimas vergangener Zeiten

Erst seit 1850 werden Klimadaten systematisch und mittels technischer Messgeräte erfasst. Daten zu Zeiträumen davor müssen aus sogenannten Klimaarchiven (M6) rekonstruiert werden. Diese liefern zwar durchaus aussagekräftige Hinweise auf das früher vorherrschende Klima, da sich klimatische Gegebenheiten direkt auf ein Ökosystem und auf die Zusammensetzung der Atmosphäre auswirken. Eine physikalisch exakte Klimarekonstruktion ist mit Klimaarchiven jedoch zurzeit nicht möglich. Durch Synthese mehrerer Archive kann ihre Zuverlässigkeit erhöht werden, die Fehleranfälligkeit nimmt mit dem Alter in der Erdgeschichte jedoch zu. Die Überlegungen beruhen auf dem Aktualitätsprinzip, dass die heute zu beobachtenden Naturgesetze in gleicher Weise in der Vergangenheit gegolten haben.

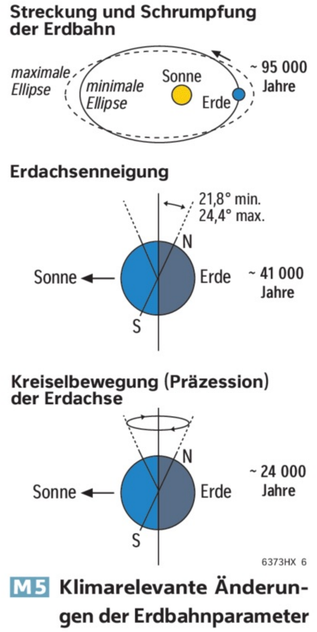
Extraterrestrische Prozesse	Zeitdimension (Jahre)
Sonnenalterung (Energieabstrahlung)	Mio. – Mrd.
Sonnenfleckenzyklus *	11 bzw. 22
Terrestrische Prozesse	
Zusammensetzung der Erdatmosphäre	natürlich: Mio. anthropogen: 10 – 100
Plattentektonik	Mio. – Mrd.
Gebirgsbildung, Land-Meer-Verteilung	10 000 – Mio.
Schwankungen der Erdbahnparameter	10 000 – 100 000
Vegetationsänderungen	10 – 1000
Wirkung extremer Vulkanausbrüche	Monate – Jahre
Wettersysteme (z. B. Tiefdruckgebiete)	Tage – Wochen

*Zeitraum von einem Minimum der Sonnenfleckenzahl zum nächsten Minimum. Sonnenflecken sind ein Maß für die Sonnenaktivität und damit für die Strahlungsleistung der Sonne.

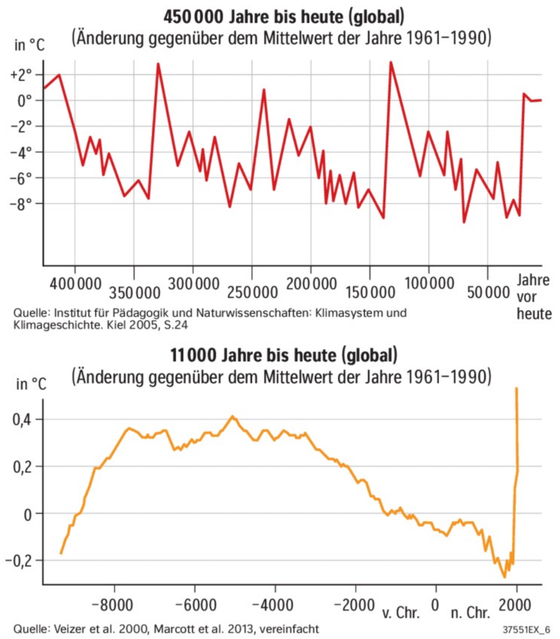
M2 Klimarelevante Prozesse und Zeiträume ihrer Wirkung auf das Klima



M3 Schematische Darstellung des Klimasystems und seiner Wechselwirkungen



M5 Klimarelevante Änderungen der Erdbahnparameter

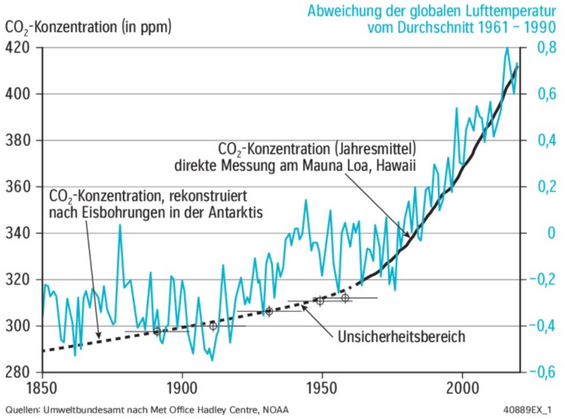


M4 Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur

Klimaarchiv	minimal	maximal	Informationen über
	erfassbarer Zeitraum (in Jahren)		
Eis und Sedimente/Sedimentgesteine			
Eisbohrkerne	1	10^6	T, N, CL, B, V, E, S
Meeressedimente	10	10^8	T, CW, B, E, M, N
Seesedimente	< 1	10^5	T, B, E, N, V, CW
biologische Bildungen			
Baumringe	< 1	10^4	T, N, B, V, E, S
Pollen	1	10^5	T, N, B
Korallen	1	10^4	CW, M, T, N
Torf / Moore	10^2	10^5	B
historische Archive	< 1	10^4	T, Z, N, B, V, E, M, S, CL, CW

T – Temperatur, N – Niederschlag, B – Biomasse und Vegetationszusammensetzung, V – Vulkanausbrüche, E – Veränderungen im Erdmagnetfeld, M – Meeresspiegelschwankungen, CL – chemische Zusammensetzung von Luft, CW – chemische Zusammensetzung von Wasser, S – Schwankungen in der Sonneneinstrahlung

M6 Klimaarchive und ihre Aussagekraft



M1 **CO_2-Konzentration in der Atmosphäre und Abweichungen der globalen Durchschnittstemperatur**

„Der vom Menschen verursachte Klimawandel (die Erderwärmung) kann in globalen Temperaturkarten mittels Modellen täglich nachgewiesen werden. Das ist das Ergebnis einer Studie, die 2020 erschienen ist: Berechnungen zum globalen Durchschnitt des Wetters an einem Tag zeigen, dass die weltweite Durchschnittstemperatur seit 2012 an jedem Tag wärmer ist als ohne den rezenten Klimawandel. Zwar sind Prognosen zum Klimawandel schon seit Jahrzehnten bekannt, doch jetzt ist der Trend so stark, dass er an jedem einzelnen Tag global beobachtet bzw. errechnet werden kann. Damit wissen wir, dass der Mensch für die Veränderungen verantwortlich ist und nicht natürliche Faktoren: vor allem die Treibhausgase wie zum Beispiel CO_2 und Methan sind hauptverantwortlich für den Klimawandel."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M2 **Interview mit dem Klimaforscher Prof. Dr. Sebastian Sippel von der Universität Leipzig (▸ QR-Code S. 44)**

Rezente Klimaveränderungen – Wie beeinflusst der Mensch das Klima?

*„Wir leben im Zeitalter des Anthropozäns." Paul Crutzen, Nobelpreisträger für Chemie, hat diesen Begriff 2002 geprägt. Inzwischen ist es unbestritten, dass der Mensch (griech.: anthropos) die Erde nachhaltig verändert, auch das Klima. Welche Faktoren sind für den anthropogenen **Klimawandel** verantwortlich?*

AUFGABEN

1 a) Werten Sie die Graphik (M1) aus und beschreiben Sie die Entwicklung (▸S. 216).
b) Setzen Sie ihre Ergebnisse in Beziehung zu den Aussagen der Klimaforschung (M2).

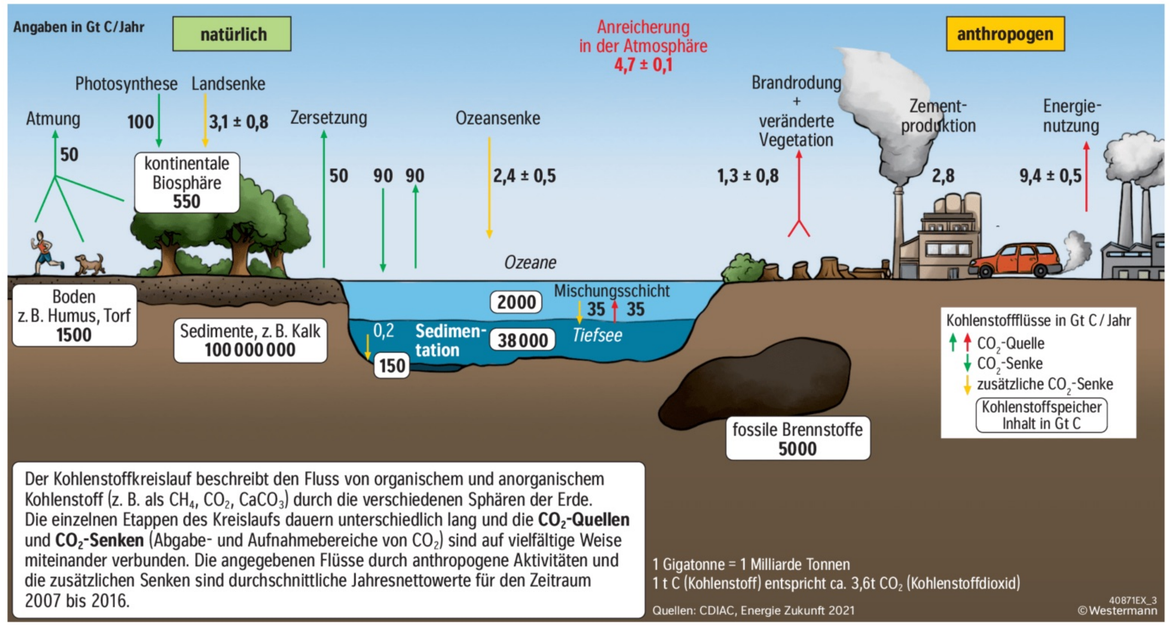
2 Erläutern Sie anhand der Graphik zum Strahlungshaushalt (▸S. 13: M4) und den Veränderungen im Kohlenstoffkreislauf (M3) die Entwicklung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre und deren Folgen.

3 Analysieren Sie die Graphik zur anthropogenen Klimabeeinflussung und bestimmen Sie Ansatzpunkte, mit deren Hilfe die Ursachen für die anthropogene Klimaerwärmung bekämpft werden können (M4).

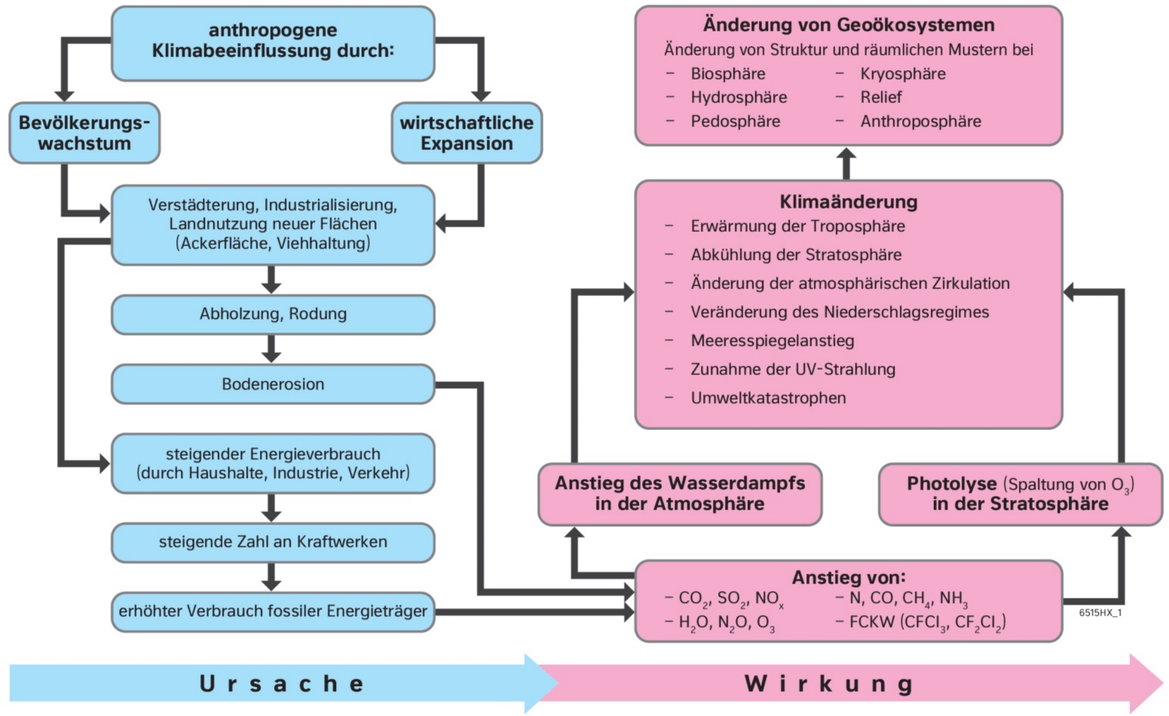
E↑ **4** Nach wissenschaftlichen Studien bestehen kaum Zweifel, dass die derzeitigen Klimaveränderungen anthropogenen Ursprungs sind.
a) Vergleichen Sie die Ursachen für die natürlichen Klimaschwankungen mit denen für den rezenten Klimawandel (▸S. 40/41).
b) Überlegen Sie Gründe, warum dennoch versucht wird, den rezenten Klimawandel zu leugnen.

5 Erstellen Sie einen Kurzvortrag, in dem Sie Handlungsmöglichkeiten aufzeigen, mit denen den Ursachen des rezenten Klimawandels effektiv begegnet werden kann.

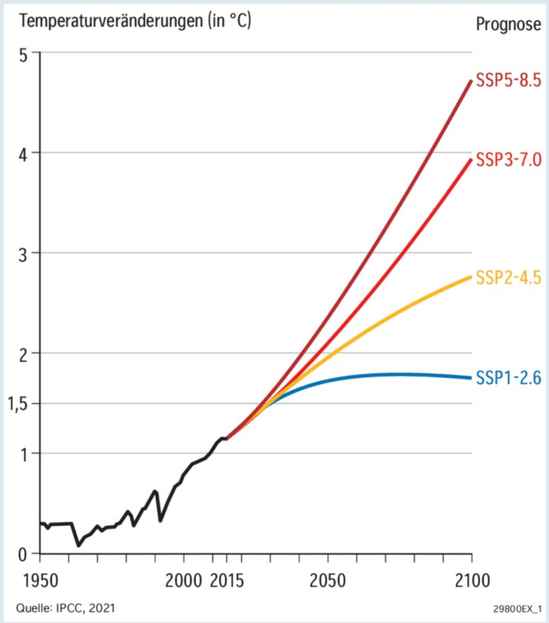
Während der natürliche Treibhauseffekt dafür sorgt, dass Leben auf der Erde überhaupt möglich ist, verstärken vom Menschen emittierte Treibhausgase diesen zusätzlich (**anthropogener Treibhauseffekt**). Svante Arrhenius prognostizierte bereits 1896 eine Temperaturerhöhung der Erdatmosphäre, die heute täglich messbar ist (M2).
Kohlenstoffdioxid gelangt vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger in die Atmosphäre, deren Nutzung seit der Industrialisierung stark zunahm (M1). Dies verändert den Kohlenstoffkreislauf (M3) und hat Auswirkungen auf die Strahlungsbilanz (▸S. 13: M4). Die Folge sind steigende Durchschnittstemperaturen weltweit (M1). Dazu tragen auch andere Treibhausgase in der Atmosphäre bei, wie zum Beispiel Wasserdampf, Methan (CH_4), Distickstoffmonoxid (N_2O, Lachgas), Ozon (O_3) oder Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Die Folgen für das Klima sind gravierend. Zum Beispiel erwärmt sich die Luft in der Arktis und in Hochgebirgen und bringt Eis zum Schmelzen. Die freigelegten, dunkleren Flächen haben eine geringere Albedo und nehmen zusätzlich Sonnenenergie auf.
Aber auch andere Eingriffe des Menschen in Ökosysteme lösen weltweit klimaverändernde Prozesse aus, die sich zum Teil gegenseitig verstärken, zum Beispiel Abholzung, Verstädterung oder Landwirtschaft (Rinderhaltung, Reisanbau).



M3 **Beeinflussung des Menschen: Veränderungen im Kohlenstoffkreislauf**



M4 **Anthropogene Klimabeeinflussung**



Für die SSP-Szenarien (*Shared Socioeconomic Pathways*, deutsch: gemeinsame sozioökonomische Entwicklungspfade) wurden zunächst fünf sogenannte Narrative entworfen, die unterschiedliche Entwicklungen der Gesellschaft beschreiben:

SSP1: Nachhaltiger grüner Weg (Szenario SSP1-2.6):
- Bewahrung globaler Gemeinschaftsgüter, Respektierung der Grenzen der Natur
- Statt Wirtschaftswachstum: menschliches Wohlbefinden
- Reduzierung der Einkommensungleichheiten zwischen den Staaten und innerhalb der Staaten
- Orientierung des Konsums an geringem Material- und Energieverbrauch

SSP2: Fortschreibung der bisherigen Entwicklung (Szenario SSP2-4.5):
- Einkommensentwicklungen einzelner Länder gehen weit auseinander.
- Nur geringfügige Weiterentwicklung der begrenzten Zusammenarbeit zwischen den Staaten
- Moderates globales Bevölkerungswachstum mit Abschwächung in der zweiten Jahrhunderthälfte
- Gewisse Verschlechterung der Umweltsysteme

SSP3: Regionale Rivalitäten (Wiederbelebung des Nationalismus und regionaler Konflikte rücken globale Themen in den Hintergrund) (Szenario SSP3-7.0):
- Zunahme der Ungleichheiten
- Zunehmende Orientierung der Politik an nationalen und regionalen Sicherheitsfragen
- Abnahme der Investitionen in Bildung und technologische Entwicklung
- Starke Umweltzerstörungen in einigen Regionen

SSP4: Ungleichheit (kein Szenario entwickelt):
- Zunahme der Kluft zwischen entwickelten Gesellschaften, die auch global kooperieren, und solchen, die auf einer niedrigen Stufe der Entwicklung mit niedrigem Einkommen und geringem Bildungsstand verharren
- In einigen Regionen ist Umweltpolitik bei lokalen Problemen erfolgreich, in anderen nicht.

SSP5: Fossile Entwicklung (Szenario SSP5-8.5):
- Mit der Folge von Innovationen und technologischem Fortschritt zunehmende Integration der globalen Märkte
- Soziale und ökonomische Entwicklung durch verstärkte Ausbeutung fossiler Brennstoffressourcen mit einem hohen Kohleanteil und einem weltweit energieintensiven Lebensstil
- Wachstum der Weltwirtschaft – erfolgreiche Bekämpfung lokaler Umweltprobleme wie der Luftverschmutzung

Die Zahlen hinter dem SSP-Szenario stehen für den zusätzlichen Strahlungsantrieb (ZSA) 2100 in W/m². SSP1-2.6 geht also von einem ZSA von 2,6 W/m² aus.
Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M 1 Szenarien des IPCC (2021)

AUFGABEN

1 a) Analysieren Sie den Verlauf der verschiedenen Szenarien des IPCC (M1).
b) Stellen Sie Vermutungen an, welches der Szenarien eintreten wird. Erläutern Sie Ihre Einschätzung.
c) Diskutieren Sie anschließend und überlegen Sie Handlungsmöglichkeiten und deren Wirksamkeit.

2 Wissenschaftliches Arbeiten (QR-Code)
a) Skizzieren Sie das Verfahren der Modellierung (QR-Code: Text 1, ▸S. 41: M4).
b) Erläutern Sie die Basis, auf der Szenarien erstellt werden (QR-Code: Text 2).
c) Stellen Sie Möglichkeiten und Grenzen der Klimamodellierung dar.

3 a) Erläutern Sie die mit Kippelementen und Kipppunkten generell verbundene Problematik (M2, M3).
b) Recherchieren Sie an einem selbstgewählten Kippelement den aktuellen Stand (M2, ▸S. 228).

Digital+
Experteninterview mit Prof. Dr. Sippel
https://schule.diercke.de
Webcode: WES-151945-044

E↑ Ist eine Vorhersage des Klimas möglich? – Klimamodelle

Welche Folgen hat der rezente Klimawandel? Dafür erheben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zahlreiche Daten und erstellen Modelle, um damit Entwicklungen abschätzen zu können. Doch die Zusammenhänge dahinter sind sehr komplex. Wie ist es trotzdem möglich, wissenschaftlich begründet eine zutreffende Prognose abzugeben?

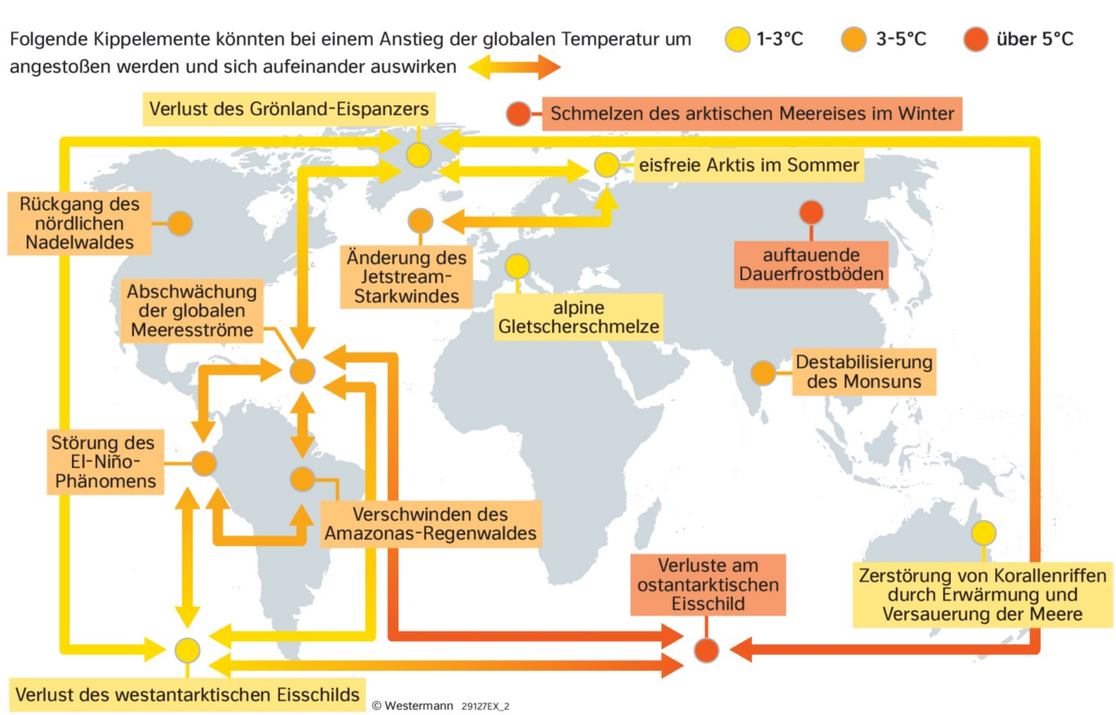
Temperaturmessungen über lange Zeiträume bieten Anhaltspunkte für Veränderungen des Klimas, weisen aber auch verschiedene Schwierigkeiten auf. Denn die Vorgänge in der Atmosphäre sind ein Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels, das bis heute nur bedingt in Simulationen abgebildet werden kann. Es wirken viele Faktoren zusammen, die sich auf unterschiedlichen Ebenen (Mikro-, Meso- und Makroklima) gegenseitig beeinflussen und sich durch Rückkopplungen ständig verändern.
Ein weiterer zentraler Forschungsgegenstand besteht darin, **Kippelemente** bzw. **Kipppunkte** im Klimasystem zu identifizieren und deren Funktionsweise zu verstehen (M2, M3). Dabei wird versucht, vorherzusagen, ab welchen Kipppunkten (z.B. Überschreiten von Temperaturschwellenwerten) die Klima- und Umweltsysteme in einen neuen Zustand übergehen bzw. sich unumkehrbar verändern.

Kippelemente sind Bestandteile des Erdsystems, die einen großen Raum umfassen (z.B. westantarktischer Eisschild, Amazonas-Regenwald, ▸S. 69: M4). Sie unterliegen Schwankungen und können Störungen bis zu bestimmten Schwellenwerten (Kipppunkte, engl.: *Tipping Points*) tolerieren. Werden die Schwankungen stärker, wechselt das Element in einen instabilen Bereich und kippt schließlich abrupt in einen anderen, ebenfalls stabilen, aber unvorhersagbaren und irreversiblen Zustand. Wie beim Dominoeffekt kann dies weitere Veränderungen hervorrufen.

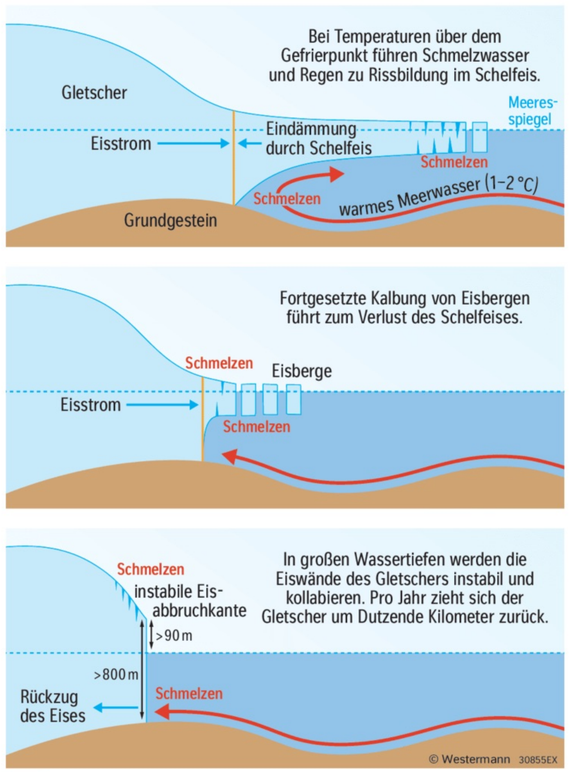
So könnte zum Beispiel ein steigender Meeresspiegel das Schelfeis der Westantarktis anheben und abbrechen lassen. Damit fehlte dem Inlandeis der Halt. Es würde schneller in den Ozean fließen und der Meeresspiegel könnte durch das Abtauen rascher ansteigen (▸S. 46).

Ein weiteres Beispiel ist die Erwärmung der Ozeane. Als Folge sterben die Korallen, und Algen überwuchern die Riffe. Korallen halten jedoch Sturmfluten fern. Ohne diesen Schutz werden die Mangrovenwälder an den Küsten zerstört und die Ufer zunehmend erodiert. Weil die Mangroven vielen Fischen als Kinderstube dienen, wird ihr Verlust vielerorts die Fischereierträge sinken lassen. Da gerade im **Globalen Süden** Fisch zu den wichtigsten Nahrungsmitteln zählt, wären die Folgen für die Bevölkerung verheerend.

M 3 Die Bedeutung von Kippelementen und -punkten



M 2 Kippelemente (Auswahl)



M1 **Folgen einer Temperaturerhöhung für Eisschilde der Antarktis (▸ S. 103: M5)**

AUFGABEN

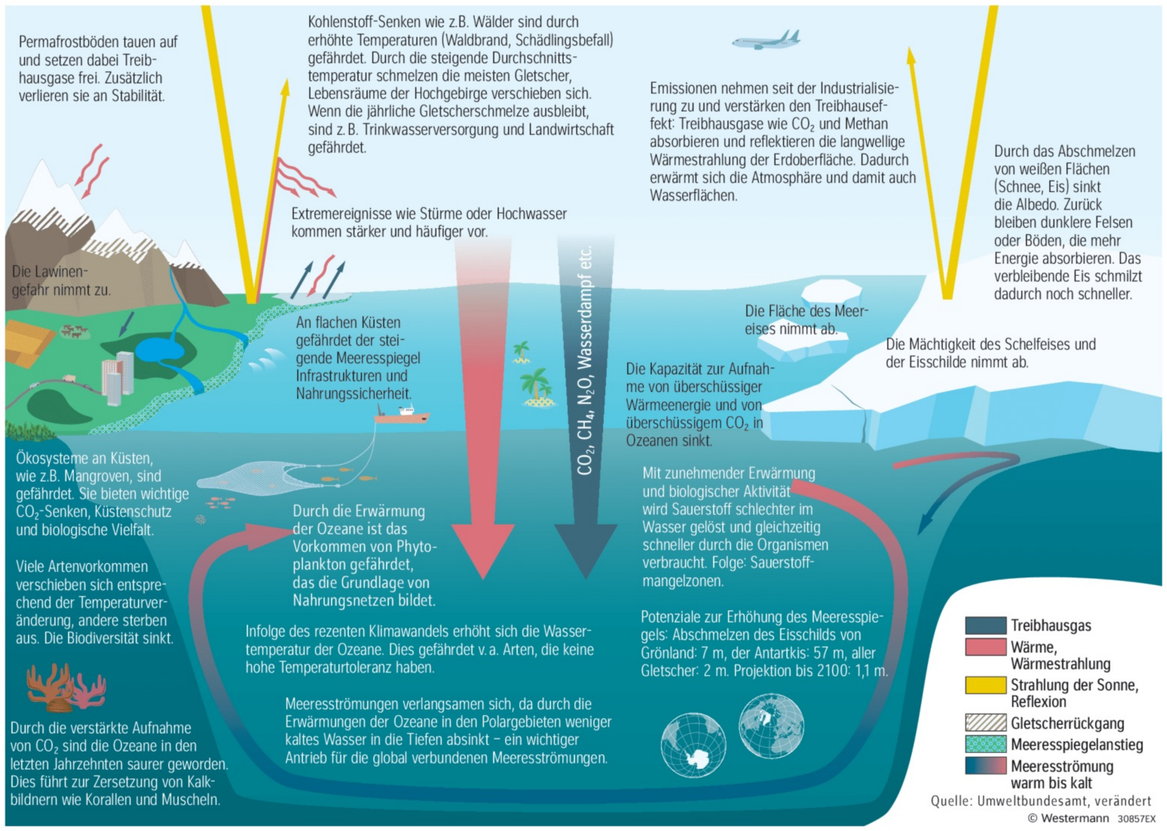
1. Erklären Sie den Vorgang des Abschmelzens der Antarktisgletscher (M1) und skizzieren Sie die Folgen in Form eines Wirkungsgefüges.
2. a) Erläutern Sie die Folgen eines Meeresspiegelanstiegs um einen Meter für die Niederlande (M2).
   b) Recherchieren Sie zu dortigen Anpassungsmaßnahmen und diskutieren Sie deren Wirksamkeit.
3. Erklären Sie die Folgen innerhalb des Zusammenspiels zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre (M3).
4. Ermitteln Sie für zwei Regionen im südlichen Asien, warum diese als vulnerabel eingestuft werden (M4, M5).
5. Mit dem Ansteigen der Durchschnittstemperaturen ändern sich die Möglichkeiten z. B. für die Landwirtschaft. Recherchieren Sie zu einem für positiv gehaltenen Beispiel und diskutieren Sie, ob dies so gesehen werden kann (Internet, ▸ S. 228).

M2 **Höhenprofil der Niederlande**

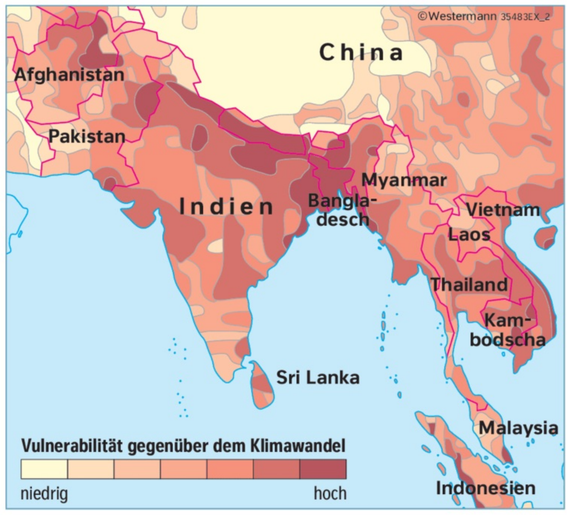
Die Folgen des rezenten Klimawandels

Meeresspiegelanstieg, Extremwetterlagen, Dürren und Überschwemmungen – Meldungen darüber beginnen eine Konstante zu werden, mit der sich alle auseinandersetzen müssen. Die allermeisten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sehen als Ursache für die Häufung den rezenten Klimawandel. Doch wie groß sind die Folgen?

Die Auswirkungen des rezenten Klimawandels sind vielfältig. So ist seit 1995 der globale Meeresspiegel bereits um etwa einen Meter gestiegen. Dies trifft besonders Küstenregionen in Asien und Ozeanien, die nur wenig über dem Meeresspiegel liegen. Doch auch in Europa müssen an den Küsten der Niederlande (M2) und Norddeutschlands Maßnahmen getroffen werden, um dem Anstieg des Wassers zu begegnen.
Besonders die Nordhalbkugel und vor allem die nördlichen Polarregionen werden sich Prognosen zufolge überdurchschnittlich erwärmen. Dort wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit einem Temperaturanstieg von 6 °C gerechnet (global: 2,5 – 4 °C). Neben der Zunahme von Dürren führt dies u.a. zum verstärkten Abschmelzen des Meereises und der Gletscher. Durch das beim Abschmelzen ins Meer eindringende Süßwasser verringert sich regional der Salzgehalt, dies hat Einfluss auf Meeresströmungen (▸ S. 32/33, S. 35: M5). Auch Extremereignisse wie die Flutkatastrophe im Ahrtal (▸ S. 138/139) werden nach Expertenmeinung in Zukunft häufiger auftreten.



M3 **Folgen des rezenten Klimawandels für Atmosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre**



M4 **Vulnerabilität durch rezenten Klimawandel im südlichen Asien**

„Besonders betroffen sind vulnerable Bevölkerungsgruppen.
- Steigende Temperaturen, ausbleibende Niederschläge und extreme Wetterereignisse sorgen für Ernteverluste. [...]
- In einer zwei Grad wärmeren Welt könnten 40 Prozent mehr Menschen als Resultat des Klimawandels unter absoluter Wasserknappheit leiden. [...]
- Steigende Meeresspiegel bedrohen Menschen in Küstenregionen auf der ganzen Welt. Kleine Inselstaaten [...] sind besonders gefährdet. An der Küste liegende Megacities wie Bangkok, Manila, New York, Shanghai, Tokio und Jakarta gelten als ‚*Hotspots* der Verwundbarkeit'.
- Zunehmende Stürme und Überschwemmungen zerstören wichtige Infrastruktur wie Verkehrswege, Gesundheits- und Bildungseinrichtungen. [...]
- Extreme Hitze, Nahrungs- und Wassermangel, aber auch die Ausbreitung von Krankheitserregern lassen die Krankheits- und Todesraten steigen.
- Bereits bestehende Konfliktrisiken können sich verstärken, etwa die Konkurrenz um Ressourcen wie Land und Wasser."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M5 **Durch den rezenten Klimawandel besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen**

M1 **Anpassungsstrategien (A: Abdeckplanen am Gletscher an der Grawandspitze in Südtirol (Italien), B: Tröpfchenbewässerung in Spanien)**

AUFGABEN

1 Stellen Sie sich vor, Sie hätten für das Thema „globale Erwärmung“ ein großes finanzielles Budget zur Verfügung. Wie viel Prozent davon würden Sie für Klimaanpassung, wie viel für Treibhausgasminderung ausgeben? Begründen Sie Ihre Entscheidung.

2 Beschreiben und erklären Sie die dargestellten Anpassungsmaßnahmen (M1).

3 Erklären Sie das Prinzip des Emissionshandels in der EU und beurteilen Sie dieses (M2).

4 Beschreiben Sie das Diagramm M3 und diskutieren Sie dessen politische Dimension.

E↑ **5** Formulieren Sie politische Forderungen für weitere Einsparungsmöglichkeiten in den Sektoren. Beurteilen Sie diese im Anschluss (M3, M6).

E↑ **6** Recherchieren Sie die Ergebnisse der letzten UN-Klimakonferenz. Stellen Sie diese vor und beurteilen Sie deren Erfolg (▸S. 228).

E↑ **7** Führen Sie das Planspiel „Klimakonferenz“ durch (M4).

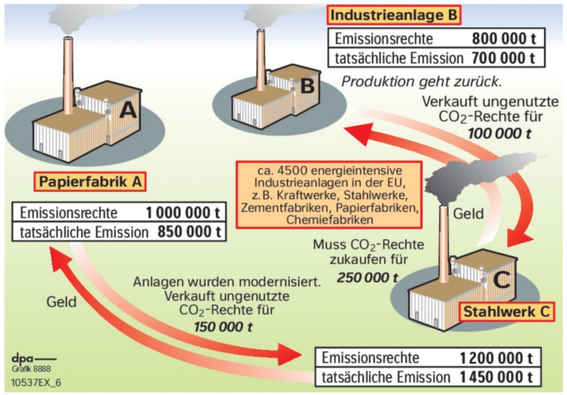
8 Erstellen Sie eine Liste von ca. vier persönlichen Maßnahmen, mit denen Sie unmittelbar zum Klimaschutz beitragen (können) (M6).

9 Geben Sie Hans Jonas‘ ethischen Imperativ (M5) in eigenen Worten wieder. Beziehen Sie dessen Aussage auf die globale Erwärmung und nehmen Sie Stellung dazu.

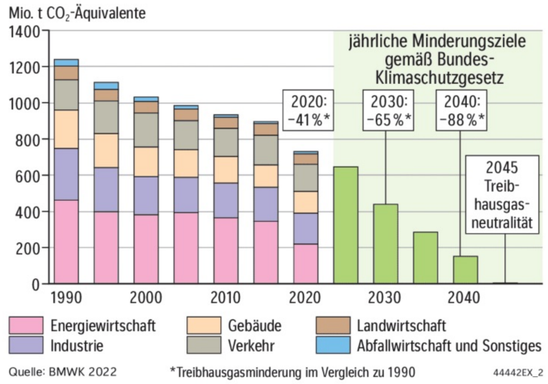
Herausforderung rezenter Klimawandel – Was sollen wir tun?

Die globale Erwärmung ist zweifelsohne ein zentrales Thema unserer Zeit und bestimmt maßgeblich die Debatten um die Zukunft der Menschheit. Dabei werden verschiedene Verantwortlichkeiten und Maßnahmen diskutiert. Welche Handlungsoptionen bestehen? Und wie sind diese zu bewerten?

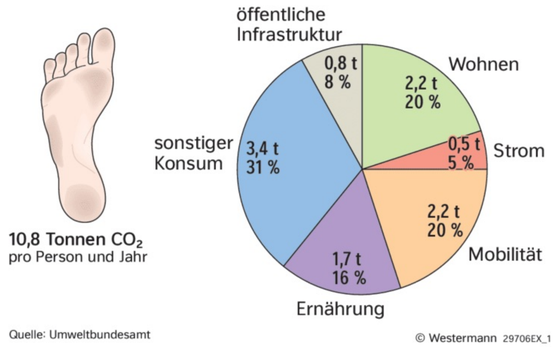
Es lassen sich mehrere Strategien unterscheiden, um der globalen Herausforderung des rezenten Klimawandels entgegenzutreten: Die Klimaanpassung (Adaption) konzentriert sich auf den Umgang mit den Folgen der globalen Erwärmung – etwa durch Anlagen des Küstenschutzes, um mit dem steigenden Meeresspiegel umgehen zu können. Daneben gibt es Maßnahmen, die sich auf eine Vermeidung der Ursachen des zunehmenden Temperaturanstiegs konzentrieren. Damit ist vor allem die Verminderung des Treibhausgasausstoßes gemeint. Allerdings werden auch zunehmend Techniken diskutiert, die versuchen, bereits emittiertes CO_2 wieder einzufangen (negative Emissionen, ▸S. 50/51).
Beim **Klimaschutz** setzt die Politik den Rahmen. Auf internationaler Ebene sind vor allem die UN-Klimakonferenzen eine wichtige Einrichtung. So wurde bei der Konferenz in Paris im Jahr 2015 das Ziel formuliert, den Temperaturanstieg vom Beginn der Industrialisierung bis zum Jahr 2100 auf 1,5 °C zu begrenzen. In der Europäischen Union wurde das Konzept des **Emissionshandels** (M2) installiert und die Bundesregierung Deutschlands gibt Einsparungsziele in den verschiedenen Sektoren vor (M3).
Neben dem großen politischen Rahmen ist es in einer freiheitlich-demokratischen Grundordnung auch an allen Einzelnen, ihr alltägliches Handeln, ihre individuelle CO_2-Bilanz, zu hinterfragen und in Bezug auf die eigene Verantwortlichkeit zu reflektieren.



M2 **Prinzip des Emissionshandels**



M3 **Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren**



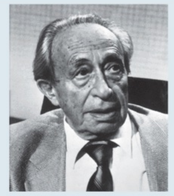
M6 **Durchschnittlicher CO_2-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland (2022)**

Spielziele
Simulieren Sie eine Klimakonferenz, bei der Sie sich als politische Vertreterinnen und Vertreter in zwei Punkten zu einigen versuchen.
1) Legen Sie ein Ziel fest, das die internationale Gemeinschaft in Bezug auf den Klimaschutz bis zum Jahre 2100 konsequent nachzugehen versucht. Formulieren Sie das Ziel in Grad Celsius, so wie es bei Klimaabkommen üblich ist. Ob Sie dabei aktuelle Ziele bestätigen, über- oder unterbieten, bleibt Ihren Rollen überlassen.
2) Legen Sie verschiedene Handlungsoptionen in Bezug auf den Klimawandel fest, auf die sich die teilnehmenden Staaten konsequent verpflichten.

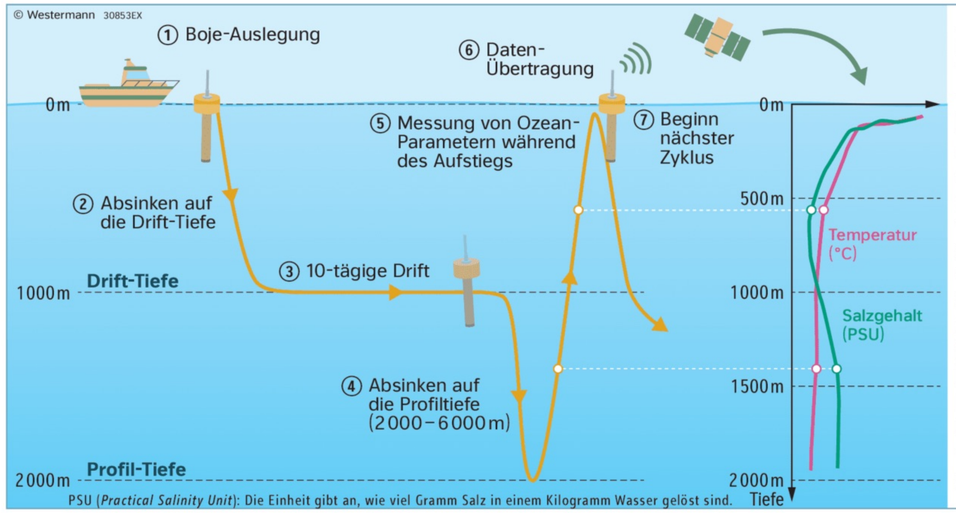
Spielablauf
- *Gruppeneinteilung*: Wählen Sie fünf bis sechs Staaten aus, die im Rahmen der Konferenz diskutieren. Zum Beispiel: USA, VR China, Indien, Deutschland oder EU, Äthiopien, Tuvalu. Ungefähr vier Schülerinnen und Schüler spielen die Delegierten des jeweiligen Staates. Wahlweise können ergänzend auch Expertengruppen gebildet werden, die an der Konferenz beratend teilnehmen, z. B. aus Bereichen der Klimaforschung, der Klimaethik oder der Wirtschaft.
- *Einzel- und Gruppenphase*: Recherchieren Sie aktuelle politische Positionen Ihres Staates zum Klimawandel und diskutieren Sie diese. Denken Sie an verschiedene Bereiche wie Ökologie, Ökonomie und Soziales. Bereiten Sie ein kurzes Einführungsstatement vor.
- *Plenumsrunde*: Stellen Sie die grundlegende Position Ihres Staates in Ihrem Einführungsstatement vor. Hören Sie den anderen Positionen gut zu und notieren Sie diese. Eine tiefere Diskussion wird an dieser Stelle noch nicht geführt.
- *Gruppenphase*: Diskutieren Sie die Positionen der anderen Gruppen innerhalb Ihrer Delegation und überlegen Sie sich, wie Sie sich zu diesen verhalten können. Vereinbaren Sie dann mit z.B. zwei weiteren Gruppen jeweils „zwischenstaatliche“ Gespräche.
- *Gespräche zwischen Gruppen*: Diskutieren Sie mit ca. zwei anderen Gruppen Ihre Positionen. Dabei können Sie Bündnisse schmieden, Überzeugungsarbeit leisten oder Angebote unterbreiten.
- *Gruppenphase*: Überarbeiten Sie im Anschluss an die bisherigen Gespräche Ihre anfänglichen Forderungen. Dabei können Sie für sich auch eine Maximal- und eine Minimalforderung formulieren.
- *Plenumsdiskussion*: Stellen Sie im Plenum Ihre Position dar und diskutieren Sie diese. Versuchen Sie sich dann auf ein verbindliches Ziel samt Maßnahmenkatalog zu einigen. Halten Sie das Ergebnis in einem kurzen Abkommen fest.
- Bleiben Sie während des gesamten Spieles möglichst in Ihrer Rolle und treten Sie erst in einer abschließenden *Reflexionsphase* aus dieser heraus.

E↑ **M4** **Planspiel „Klimakonferenz“**

Hans Jonas (1903 – 1993) war ein deutsch-amerikanischer Philosoph. In seinem Hauptwerk „Prinzip Verantwortung – Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation“ (1973) macht er klar, dass dem Menschen aufgrund seiner Handlungsoptionen immer auch Verantwortung, und zwar weit über die Gegenwart und den Nahbereich hinaus, zukommt. Jonas argumentiert zwar vor allem in Hinsicht auf Technologien wie Atomkraft, er ist mittlerweile aber zu einer wichtigen Bezugsgröße der Klimaethik geworden. Ein zentraler Satz in seinem Werk lautet: *„Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden. Oder negativ ausgedrückt: Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung nicht zerstörerisch sind für die künftige Möglichkeit solchen Lebens.“*



M5 **Hans Jonas und das Prinzip Verantwortung**



Argo-Messzyklus: Die Boje driftet in 1000 m Tiefe. Alle 10 Tage taucht sie bis in 2000 bis 6000 m Tiefe ab, schaltet ihre Sensoren ein und beginnt mit der Messung, während sie wieder zur Oberfläche steuert. Sobald sie an der Oberfläche angekommen ist, schaltet sie ihren Sensor aus und sendet ihre Daten über Satellitenkommunikation an Datenzentren. Anschließend taucht sie wieder für einen neuen Zyklus auf 1000 m Tiefe ab.

M1 Forschungsprojekt „Argo“

E↑ Forschungsprojekte zum rezenten Klimawandel

Zum rezenten Klimawandel forschen zurzeit Tausende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus unterschiedlichen Disziplinen. Dabei geht es von der schwierigen Erhebung von Daten bis zu utopisch anmutenden Projekten des Geo-Engineerings.

Um die komplexen Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Ozeanen zu verstehen, spielt die Erforschung der Meere eine große Rolle. Das Projekt „Argo“ ist ein Beobachtungssystem, das mithilfe von knapp 4000 Treibbojen zum Beispiel Temperatur, Salzgehalt und Meeresströmungen misst. In Europa (Euro-Argo) sind elf Länder, darunter auch Deutschland, beteiligt, Daten zu sammeln und auszuwerten, um unter anderem Prognosen zum rezenten Klimawandel zu erstellen.

Geo-Engineering (M2 – M6) dagegen setzt auf gezielte technische Eingriffe in das Klimasystem, um den Klimawandel abzuschwächen. Manche Ansätze sind jedoch umstritten (M4).

AUFGABEN

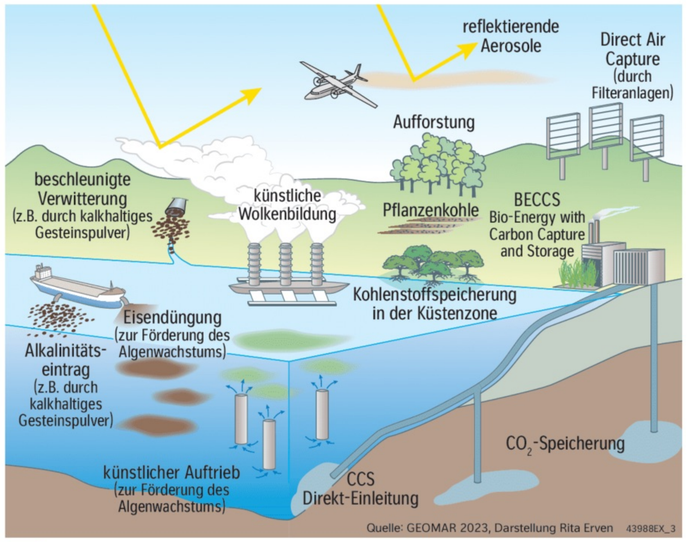
1. a) Beschreiben Sie das Ziel und die Vorgehensweise des Projekts Argo (M1).
   b) Analysieren Sie die angewandten Methoden und damit die Möglichkeiten und Grenzen, mit den Messungen Aussagen über Veränderungen im Meer treffen zu können (M1).
2. a) Recherchieren Sie zu einem *Geo-Engineering*-Projekt. Versuchen Sie eine Einschätzung, welche Möglichkeiten bzw. Risiken die Methode birgt (M2, M3, M5, M6).
   b) In den Szenarien des IPCC (▸ S. 44/45) sind die Möglichkeiten des *Geo-Engineering* bereits eingeplant. Diskutieren Sie, ob dies realistisch ist.
   c) Kann der anthropogen verursachte Klimawandel mittels technischer Möglichkeiten bekämpft werden? Nehmen Sie dazu Stellung (M3 – M6).

Geo-Engineering oder *Climate-Engineering* umfasst bewusste, zielgerichtete technologische Maßnahmen, die in die Energiebilanz der Erde eingreifen. Die Maßnahmen zielen darauf ab, den Treibhauseffekt abzumildern und dadurch die globale Erwärmung zu reduzieren. Dabei wird grundsätzlich zwischen zwei theoretisch möglichen Strategien unterschieden: *Solar Radiation Management* (SRM) und *Carbon Dioxide Removal* (CDR).

Beim *Solar Radiation Management* sollen beispielsweise durch in der Stratosphäre ausgebrachte Aerosole oder künstlich erzeugte Wolken die Nettoeinstrahlung kurzwelliger Sonnenstrahlen verringert und dadurch die Atmosphäre in Bodennähe abgekühlt werden.

Bei *Carbon Dioxide Removal* soll CO_2 durch biologische, chemische oder physikalisch-technische Verfahren aus der Atmosphäre entfernt werden. Das kann beispielsweise durch Aufforstung, Meeresdüngung oder durch Filter- und Speichersysteme geschehen, die CO_2 binden und einspeichern, um dem Treibhauseffekt entgegenzuwirken.

M2 Strategien des *Geo-Engineering*



M3 Formen des *Geo-Engineering*

„Um die schlimmsten Folgen des Klimawandels abzuwenden, soll das Pariser Klimaabkommen [von 2015] die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad und möglichst auf 1,5 Grad begrenzen. Das ist nur möglich, wenn die Staaten ihre Emissionen erheblich stärker reduzieren, als sie es bisher im Rahmen des Abkommens zugesagt haben. Wäre [*Geo-Engineering*] ein Plan B, falls dies nicht gelingt? Davon seien die vorgeschlagenen Technologien weit entfernt, schreibt ein Autorenteam um IASS-Direktor Mark Lawrence in einem Artikel. […]

Mit jeder dieser Technologien sind zahlreiche Unsicherheiten verbunden. Es bedarf laut den Autorinnen und Autoren noch umfangreicher Forschung, um das Kühlungspotenzial jeder Technologie sowie die Kosten und Risiken für die Erdsysteme und die Gesellschaft genauer einzuschätzen. Hinzu kämen bei vielen Technologien Investitionen in enorme Infrastrukturen und Ressourcen sowie komplexe internationale Regulierungen.

‚Keine der vorgeschlagenen […] Techniken könnte realistisch innerhalb der nächsten Jahrzehnte in globalem Maßstab eingesetzt werden. Das heißt, man kann nicht damit rechnen, dass sie einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen des 2-Grad-Ziels – geschweige denn des 1,5-Grad-Ziels – leisten könnten‘, sagt Leitautor Mark Lawrence. Sollten *Geo-Engineering*-Technologien je Anwendungsreife erreichen, dann mit hoher Wahrscheinlichkeit erst in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Eine deutliche Senkung der Emissionen von CO_2 und anderen klimawirksamen Stoffen sei derzeit der einzig zuverlässige Weg, um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen.“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Wissenschaftliche Einschätzungen zum *Geo-Engineering*

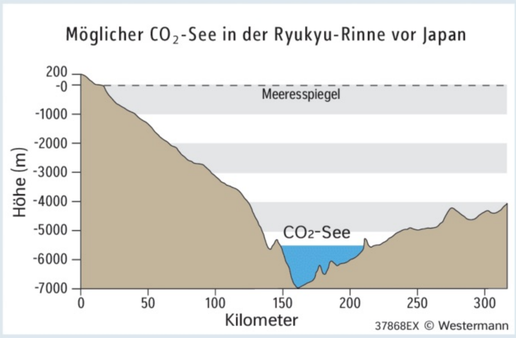
Algen absorbieren bei der Photosynthese CO_2. Durch das Einbringen von Eisen und anderen Düngemitteln in die Ozeane könnte die Algenblüte verstärkt werden. Der Atmosphäre würde dabei CO_2 entzogen werden, sodass eine Ursache des rezenten Klimawandels reduziert werden würde. Die Menge des benötigten Eisens wäre vergleichsweise gering.

Jedoch ist die Studienlage zur Wirksamkeit der Methode widersprüchlich. Die Ozeandüngung könnte zu einer Veränderung der Nährstoffzusammensetzung des Oberflächenwassers führen. Daneben wäre durch den erhöhten Eintrag von CO_2 eine zunehmende Versauerung der Meere möglich. Darüber hinaus wird das Wachstum von Algenarten gefördert, die toxische Säuren produzieren. Diese würden sich in der Nahrungskette anreichern. Das starke Algenwachstum könnte zudem zu einem erhöhten Sauerstoffverbrauch in den Ozeanen führen.

M5 Beispiel Eisendüngung

Mit der CCS-Methode (*Carbon Capture and Storage*) ist es möglich, CO_2 dem atmosphärischen Kreislauf zu entziehen. Doch wo das abgeschiedene CO_2 letztendlich gelagert werden soll, ist bislang nur unbefriedigend gelöst. Die Speicherung in ehemaligen Erdöl- und Erdgaslagerstätten oder in tiefen Grundwasserleitern ist aufwendig und teuer, ein sicherer Einschluss ist ebenfalls fraglich.

Aktuell erforschen einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daher die Speicherung in Tiefseerinnen. Hierfür muss das CO_2 aber in Tiefen von mindestens 5000 Meter unter dem Meeresspiegel eingebracht werden. Unter den dort herrschenden Druckbedingungen ist das CO_2 flüssig und seine Dichte ist deutlich größer als die des umgebenden Wassers. Es bilden sich sozusagen CO_2-Seen am Meeresboden.



M6 Tiefseerinnen als Endlager für CO_2

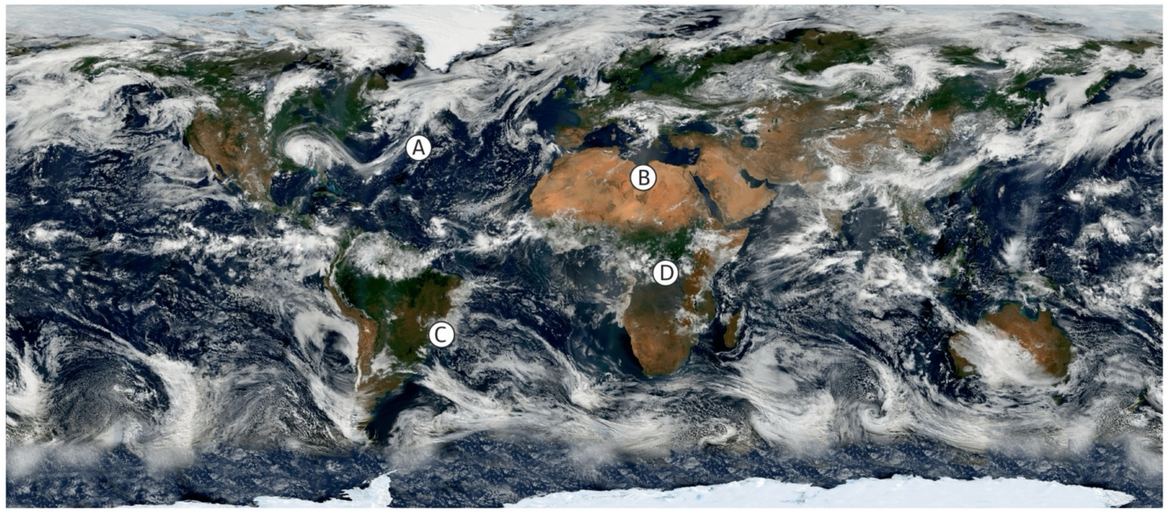
Klima und Klimawandel

AUFGABEN

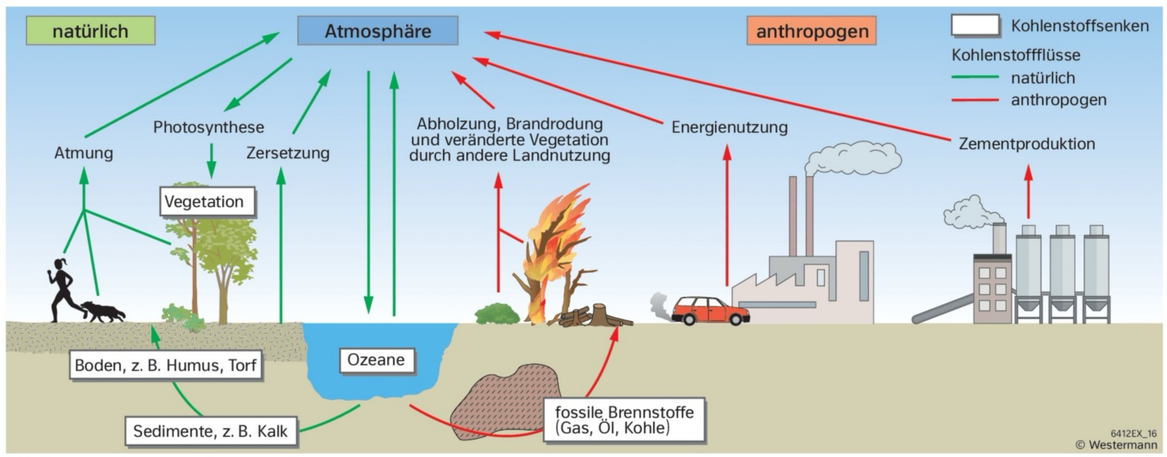
Arbeitszeit: 60 Minuten

1 Erklären Sie ausführlich anhand von M1 (▸ auch S. 8/9) und dem Atlas die Bewölkungssituation an den vier Standorten (A – D). Gehen Sie, sofern im Einzelfall angebracht, auch auf Meeresströmungen und/oder das Relief ein.

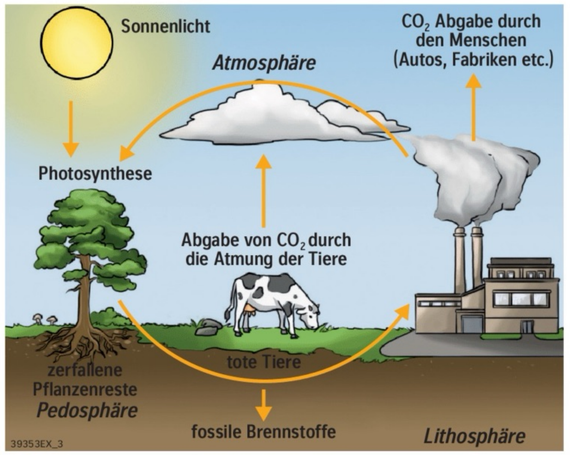
2 a) Erläutern Sie den Einfluss des Menschen auf den Kohlenstoffkreislauf mithilfe von M2 – M5.
b) „Holz ist als Baustoff in mehrfacher Weise gut für das Klima." Erörtern Sie diese Aussage ausgehend von M5 und M6.
c) Beschreiben und erklären Sie die Karikatur M7. Nehmen Sie anschließend dazu Stellung.



M1 Satellitenbild der Erde im Juni (▸ S. 8/9)



M2 Kohlenstoffsenken und -quellen



M3 Schematische Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs

M7 Karikatur

„Eine 35 m hohe Fichte mit einem Alter von ca. 100 Jahren hat einen Durchmesser von 50 cm (in 1,3 m Höhe über dem Boden gemessen). Das Holzvolumen inklusive Äste, aber ohne Wurzeln beträgt 3,4 m³. Die darin enthaltene Biomasse hat ein Trockengewicht von knapp 1,4 t; die Hälfte des Holzkörpers besteht aus Kohlenstoff, also 0,7 t. Das bedeutet: Eine 35 m hohe Fichte hat 0,7 t Kohlenstoff gespeichert. Dies entspricht einer CO_2-Absorption von 2,6 t CO_2 (Umrechnungsfaktor 3,67). [...] Eine Buche mit den gleichen Maßen hat fast eine Tonne mehr CO_2 gespeichert als eine Fichte. Dies liegt daran, dass die Holzdichte bei der Buche höher ist. [Zum Vergleich: Jeder Deutsche stößt etwa 10 t CO_2 pro Jahr aus.]"

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Kohlenstoffspeicher Holz

Der Anteil der CO_2-Emissionen, der von Kohlenstoffsenken an Land oder im Meer aufgenommen wurde, ist in den letzten 50 Jahren zurückgegangen. Kohlenstoffsenken wie Regenwälder oder das Phytoplankton der Meere spielen im Klimasystem der Erde, aber auch im Kohlenstoffkreislauf eine wichtige Rolle. Sie nehmen Kohlenstoffdioxid aus der Luft oder aus dem Meer auf und wandeln es in andere Kohlenstoffverbindungen um. Dadurch reduzieren sie nicht nur den CO_2-Anteil in der Atmosphäre, sie speichern den Kohlenstoff auch über lange Zeiträume hinweg. Durch Brandrodung (Foto) und die Verwendung von Holz als Heizmittel kommt es zum einen zur Erhöhung des CO_2-Gehaltes in der Atmosphäre. Zum anderen stehen die vernichteten Waldflächen langfristig nicht mehr als Kohlenstoffsenke zur Verfügung.

M5 Rückgang der Kohlenstoffsenke Wald

Die Baubranche belastet die Umwelt besonders. Beispielsweise verursacht allein die Herstellung von Zement ungefähr acht Prozent der globalen CO_2-Emissionen. Die Herstellung von Häusern (Foto) und anderen Bauprodukten aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz erfordert weit weniger Energie als die Produktion anderer Baustoffe. Und ein Großteil der benötigten Energie kann außerdem aus Holzreststoffen wie Sägemehl oder Hobelspänen produziert werden.

M6 Holz als Baustoff

Tarangire River National Park (Tansania) zur Regenzeit (links) und zur Trockenzeit (rechts)

Illegal abgeholzter Regenwald im Nationalpark Jamanxim (Bundesstaat Pará, Brasilien)

2

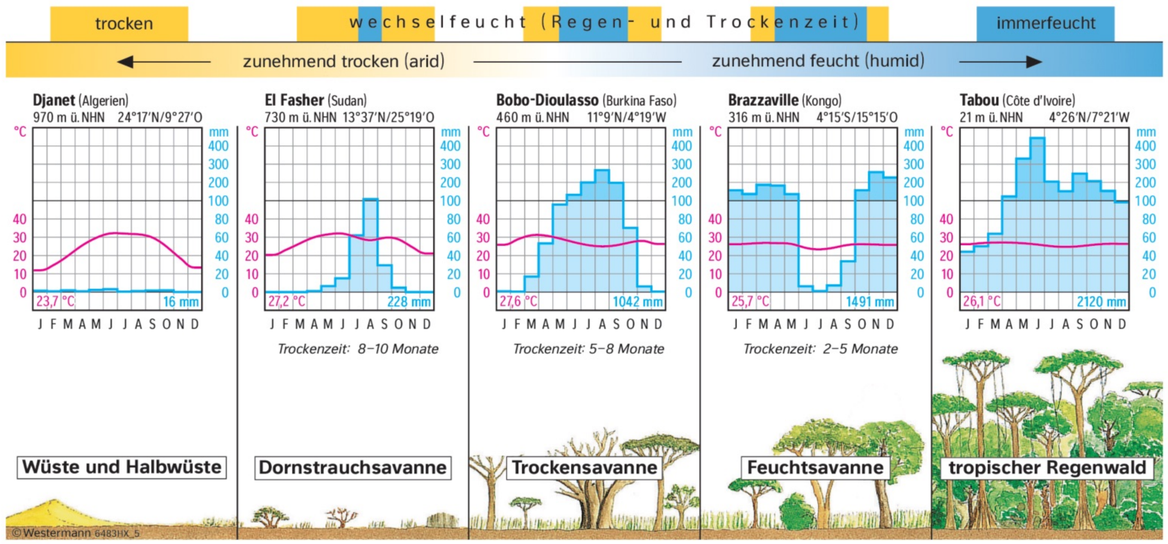
Tropen

Mensch-Umwelt-Beziehungen zwischen Vulnerabilität und Nachhaltigkeit

In diesem Kapitel erfahren Sie, ...

- ... wie die Ökosysteme der Immerfeuchten, der Wechselfeuchten und der Trockenen Tropen aufgebaut sind und wie Geofaktoren zusammenwirken (▸ S. 56 – 61, 70 – 73).
- ... welche Folgen Eingriffe in das Ökosystem der Immerfeuchten Tropen haben und welche nachhaltigen Wirtschaftsweisen es gibt (▸ S. 62 – 67).
- ... welche globale Bedeutung die Immerfeuchten Tropen mit ihrer Biodiversität haben und welchen Einfluss sie auf das Weltklima haben (▸ S. 68 – 69).
- ... welche Formen der Nutzung der Wechselfeuchten Tropen es gibt (▸ S. 74 – 75).
- ... wie Wüsten in Zusammenhang mit der atmosphärischen und marinen Zirkulation entstehen und genutzt werden können (▸ S. 76 – 79).
- ... wie es durch das Zusammenspiel natur- und humangeographischer Faktoren zur Desertifikation in den Wechselfeuchten Tropen kommt und mit welchen Strategien versucht wird diese zu bekämpfen (▸ S. 80 – 83).
- ... wie es durch konkurrierende geopolitische Interessen in den Tropen zu Spannungsfeldern kommt (▸ S. 84 – 85).
- ... welche sozialen und ökonomischen Fernwirkungen Alltagsprodukte aus tropischen Materialien haben (▸ S. 86 – 87).

Die Zone zwischen den Wendekreisen ist ein vielfältiger Natur- und Lebensraum. Die Möglichkeiten der Nutzung variieren stark und viele Produkte, die wir konsumieren, werden dort angebaut. Die daraus resultierenden Eingriffe in die Naturräume sind vielfältig und nicht zu übersehen. Diskussionen über eine zukünftige Nutzung sind längst entbrannt, da der tropische Regenwald als Kippelement für unser Klima eine große Bedeutung hat. Doch: Erkennen wir dessen Bedeutung und werden wir unser tägliches Handeln darauf einstellen?



M1 Gliederung von Klima und Vegetation in den Tropen (▸ S. 3, hinterer Einband)

Vom Äquator zu den Wendekreisen – Geofaktoren und naturräumliche Wechselwirkungen

AUFGABEN

1 In den Tropen finden sich unterschiedliche Vegetationsformen.
a) Beschreiben Sie, wie sich die Vegetation vom Äquator zu den Wendekreisen verändert (M1) und stellen Sie Hypothesen zu den Zusammenhängen auf.
b) Notieren Sie Gemeinsamkeiten und Abweichungen auf den Kontinenten (M2, Atlas).
c) Erklären Sie die Gemeinsamkeiten aus der Passatzirkulation (M4, ▸ S. 22/23).

2 Die Klimafaktoren (▸ S. 16/17) führen in verschiedenen Regionen zu Abweichungen. Erläutern Sie diese an Beispielen im Bereich der Tropen.

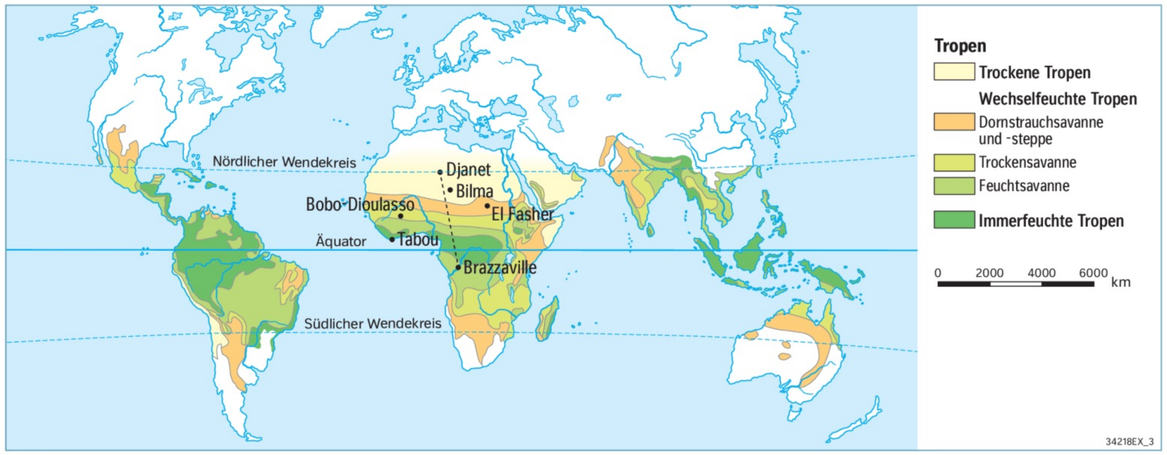
3 Erklären Sie anhand der Karten M4 die Wanderung der ITC und die Ausprägung der Vegetation (M1, ▸ S. 3, ▸ S. 23: M3).

E↑ **4** a) Erstellen Sie eine Übersicht zu den jeweiligen Ökozonen der Tropen nach der Graphik in M3. Ergänzen Sie die charakteristischen Angaben zum Klima, um daran das Zusammenwirken der Geofaktoren erläutern zu können (M1, Atlas).
b) Gestalten Sie ein Kausalprofil entlang der Linie Djanet – Brazzaville (▸ S. 229).

Regenreich mit fast 10000 mm Jahresniederschlag und trocken unter 100 mm im Jahr – in den Tropen finden sich Orte, die extreme Niederschlagswerte aufweisen. Wie ist dies zu erklären?

Klimatisch werden die Tropen von der Passatzirkulation in der Hadley-Zelle und damit der Wanderung der ITC im Jahresverlauf geprägt (▸ S. 22/23), wodurch sich Regen- und Trockenzeiten ausbilden. Mit dem Zenitstand der Sonne wandert auch die Regenzeit, deren Dauer in Richtung der Wendekreise abnimmt (M1). Die Tropen lassen sich somit untergliedern in **Trockene Tropen**, **Wechselfeuchte Tropen** und **Immerfeuchte Tropen**.

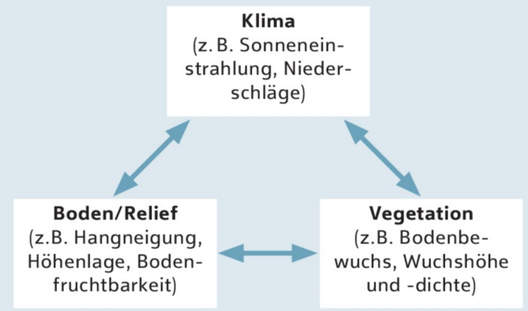
Bei der Betrachtung der Tropen auf den verschiedenen Kontinenten fällt auf, dass diese nicht immer breitenkreisparallel angelegt sind, sondern Abweichungen aufweisen. Dies liegt an den Klimafaktoren (▸ S. 16/17) wie zum Beispiel dem Relief. An Gebirgen kommt es zudem zur Ausprägung von Höhenstufen bei der Vegetation (z. B. am Kilimandscharo). Auch die Temperatur von Meeresströmungen an Küsten führt zu wärmerem oder kühlerem Klima. So sorgt zum Beispiel der Benguelastrom vor der Küste Namibias zur Bildung einer Küstenwüste (▸ S. 77). Auch die Verteilung von Land und Meer spielt für das regionale Klima eine Rolle.



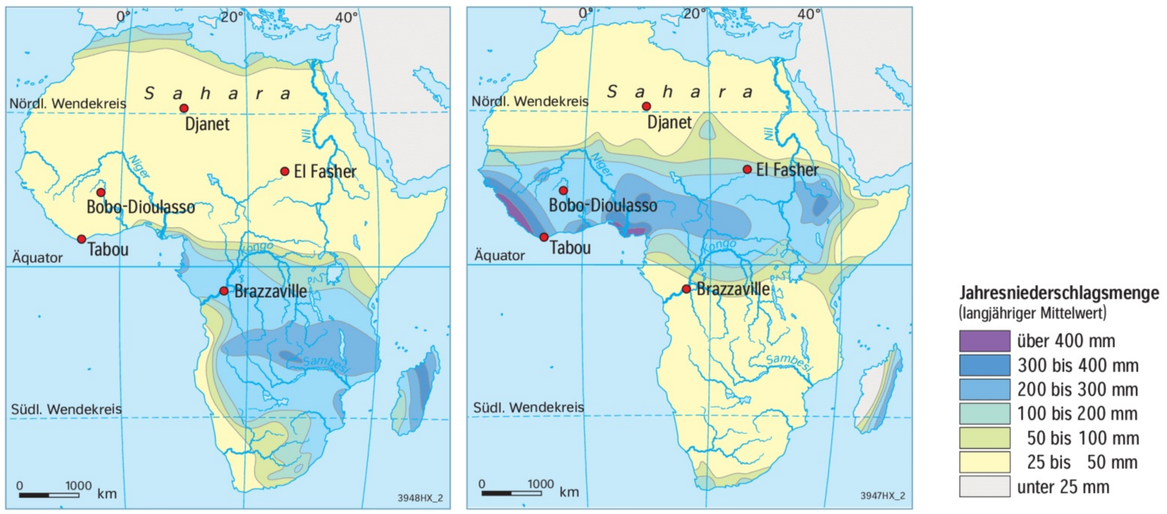
M2 Verbreitung der Tropen

Klima, Relief, Boden und Vegetation stehen in Wechselwirkung zueinander: So beeinflusst das Klima durch die Höhe der Niederschläge, den Jahresverlauf der Temperaturen und die Höhe der Jahresdurchschnittstemperaturen die Ausprägung der Bodenbedeckung.

Verringern sich zum Beispiel die Niederschläge, können Pflanzen nicht wachsen bzw. vertrocknen schneller. Folglich können sich im Bereich des Mikroklimas die Temperaturverhältnisse verändern – somit haben Veränderungen bei der Vegetation auch Rückwirkungen auf das Klima. Die Faktoren stehen also in Wechselwirkung zueinander, sodass bei Veränderungen eines Faktors die Auswirkungen auf die anderen mitbedacht werden müssen.



M3 Ausprägung von Vegetation – Ergebnis von Wechselwirkungen



M4 Verlagerung der ITC in Afrika im Januar (links) und Juli (rechts) (▸ S. 3, S. 23)

2 – 5	Zahl der Baumarten pro Hektar	40 – 100
300	Biomasse in t/ha	1100
9	absterbende Biomasse in t/ha/Jahr	25
5 – 15	Nettoprimärproduktion in t/ha	20 – 25
4	Zersetzung der Streu in Jahren	0,5
7 – 11	Vegetationsperiode in Monaten	12

M1 **Vergleich sommergrüner Laub- und Mischwald mit tropischem Regenwald**

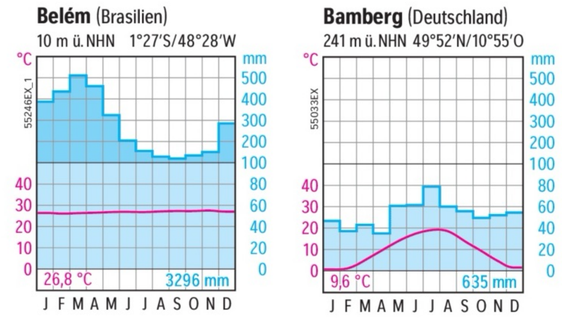
Der tropische Regenwald – Was ermöglicht Artenreichtum und -diversität?

*Der tropische Regenwald ist das artenreichste und produktivste **Ökosystem** der Erde. Dafür sorgt das feuchtwarme Klima der Inneren Tropen rund um den Äquator. Doch das Ökosystem ist vulnerabel – und durch intensive Nutzung bedroht. Warum ist das so?*

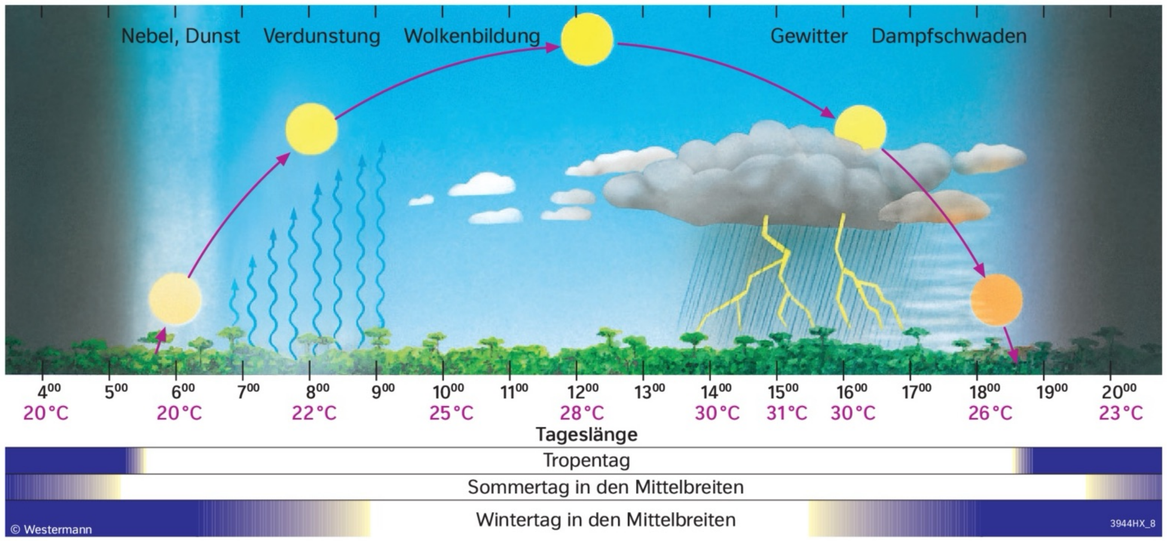
AUFGABEN

1. a) Beschreiben Sie die beiden Bilder (M1, ▸S. 220).
   b) Vergleichen Sie die beiden Wälder: Überlegen Sie Kriterien, warum diese so unterschiedlich wachsen.
2. Erläutern Sie die Besonderheiten des tropischen Regenwalds im Vergleich zu anderen Wäldern (M1, M4–M6).
3. Werten Sie die Klimadiagramme zu Belém und Bamberg aus und erklären Sie daran den Einfluss des Klimas auf die Vegetation (M2, ▸S. 222/223).
4. Beschreiben Sie den Verlauf eines Tages im tropischen Regenwald und stellen Sie den Zusammenhang zwischen Klima und Vegetation dar (M3).
5. Erläutern Sie anhand des Thermoisoplethendiagramms (▸S. 224: M1) den Begriff „Tageszeitenklima“.
6. „Der Regenwald ist ein schützenswertes Ökosystem“. Nehmen Sie Stellung (M1–M6).

Der tropische Regenwald ist in seinem Aufbau, seinem Artenreichtum und seiner Artendiversität (M1) einzigartig. Mit ganzjährig hohen Durchschnittstemperaturen (M4) und hohen Niederschlägen herrschen beste Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Dies zeigt sich in einem **Stockwerkbau** und in der Bestandsdichte. An einem Baum können zugleich verschiedene Zweige blühen, fruchten, welken oder austreiben. Der Blattflächenindex (Quadratmeter Blattfläche pro Quadratmeter Grundfläche) ist doppelt so hoch wie in den Mittleren Breiten. Während Wärme und Wasser ausreichend vorhanden sind, bestimmt das Licht den Konkurrenzkampf der Pflanzen. So wachsen zum Beispiel **Epiphyten**, sogenannte Aufsitzerpflanzen, auf Ästen und Astgabeln ihrer Trägerpflanzen (M6). Die hohen Niederschläge fallen oft in Form heftiger Regengüsse, wovon der Wald mehr als die Hälfte durch Verdunstung wieder an die Atmosphäre abgibt.
Damit bildet der tropische Regenwald eine **Ökozone**, die sich durch ihr typisches Klima und die Vegetationsform von angrenzenden Räumen unterscheiden lässt.



M2 **Klimadiagramme Belém und Bamberg**



M3 **Idealtypischer Tagesablauf und Tageslängen im tropischen Regenwald und Vergleich mit den Mittelbreiten**

- vollhumides Tageszeitenklima mit ganzjährigen Durchschnittstemperaturen über 24 °C
- Niederschläge von mindestens 1500 mm pro Jahr
- Stockwerkbau mit Baumhöhen von 60 bis über 80 m
- Artenreichtum (über 30 % aller Pflanzenarten der Welt)
- Artendiversität (z. T. über 100 Arten pro Hektar bei nur wenigen Individuen pro Art)
- stark verwitterte Böden; Auslaugung im B-Horizont (chemische Verwitterung, ▸S. 61, 218)

M4 **Standortmerkmale des immergrünen tropischen Regenwaldes**

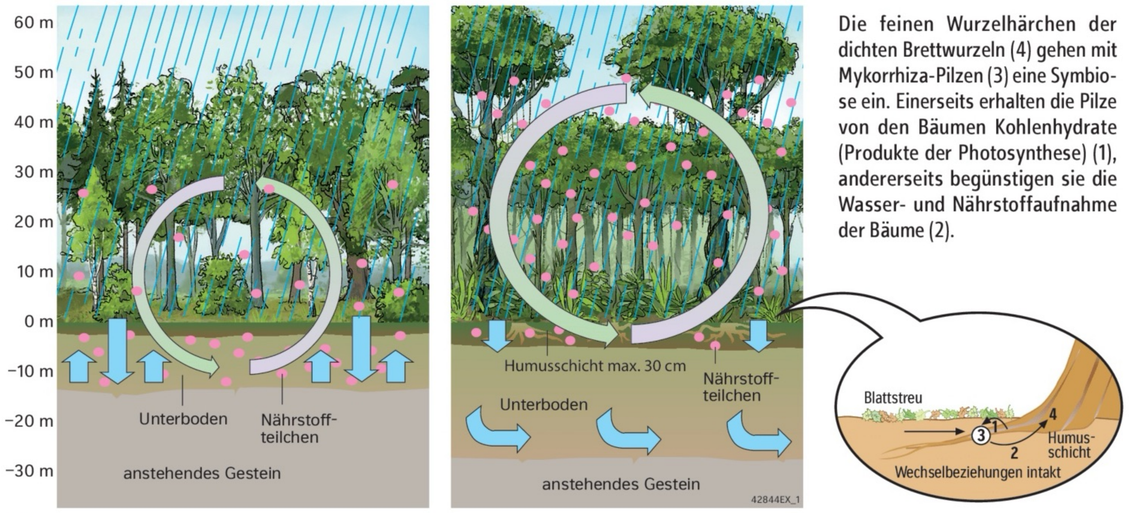
Schätzungen zufolge gibt es zwischen 50 000 und 70 000 Pflanzenarten, die für Medikamente aller Art genutzt werden. Immer noch entdecken Forscherinnen und Forscher besonders im tropischen Regenwald neue Pflanzen mit heilsamen Eigenschaften. Aus den Tropen stammt zum Beispiel der Ingwer. Er kann Muskelschmerzen lindern, bei Erkältung, Übelkeit, Seekrankheit, Magen-Darm-Beschwerden oder Entzündungen helfen. Ein anderes Beispiel ist der Chinarindenbaum, der seinen Ursprung in Zentral- und Südamerika hat. Aus Rinde und Wurzeln gewinnen seit jeher Naturvölker Chinin gegen Fieber und Malaria. Auch heute ist Chinin ein wichtiger Grundstoff für Mittel gegen Malaria.

M5 **Apotheke tropischer Regenwald**

Brettwurzeln bei flachwurzelnden Bäumen

Epiphyten

M6 **Anpassungsformen im tropischen Regenwald**



Die feinen Wurzelhärchen der dichten Brettwurzeln (4) gehen mit Mykorrhiza-Pilzen (3) eine Symbiose ein. Einerseits erhalten die Pilze von den Bäumen Kohlenhydrate (Produkte der Photosynthese) (1), andererseits begünstigen sie die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Bäume (2).

M1 **Aufbau und Nährstoffkreislauf im mitteleuropäischen Wald und im tropischen Regenwald im Vergleich**

Der tropische Regenwald – perfektes Zusammenspiel der Geofaktoren

Der tropische Regenwald weist fast unfruchtbare Böden auf. Hier wurzeln die Bäume nur flach in der dünnen Humusauflage, im Gegensatz zu vielen Baumarten in unseren Breiten. Worin unterscheidet sich das Zusammenspiel der Geofaktoren im Vergleich zum Nährstoffkreislauf in den Mittleren Breiten? Und wie kann hier dennoch ein derartiger Artenreichtum entstehen?

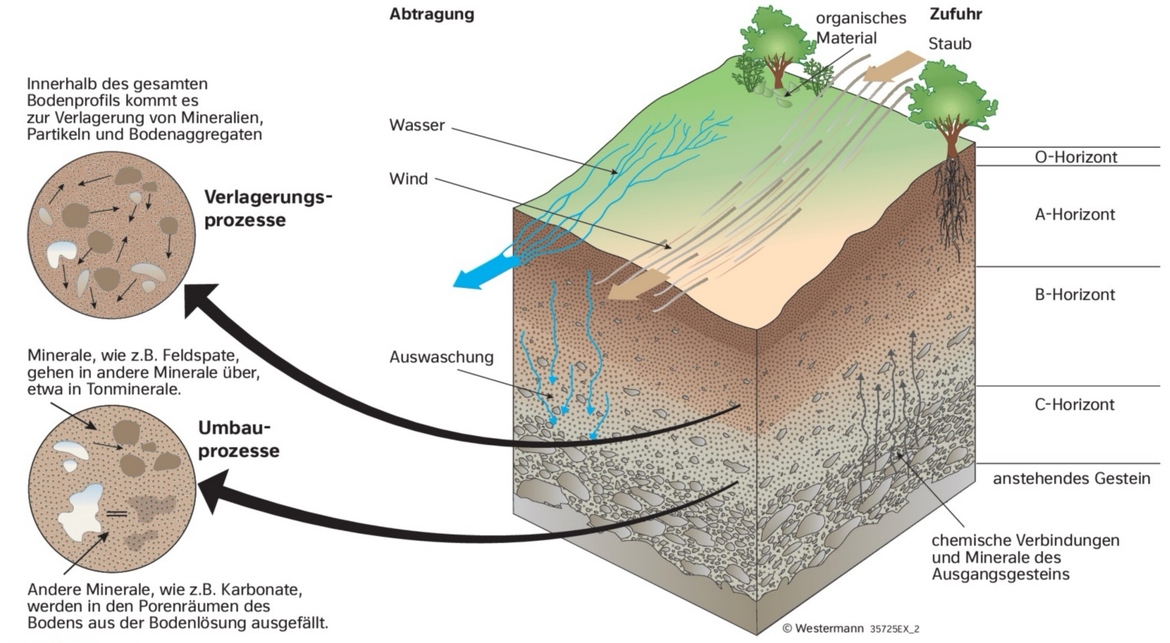
Die tropische Vegetation wirft ganzjährig Laub ab, das permanent zersetzt, zu **Humus** umgewandelt wird und damit die nötige Biomasse zur Verfügung stellt. Durch die Symbiose von Wurzeln und Pilzgeflechten (M1) ergibt sich – im Gegensatz zu den Mittleren Breiten – ein **kurzgeschlossener Nährstoffkreislauf** (M2), der das Überleben des Regenwaldes sichert. Infolge der hohen Niederschläge sickert ganzjährig Wasser durch den Boden und laugt diesen aus, sodass er tiefgründig keine Nährstoffe aufweist – der Wald ist auf die Humusauflage angewiesen, da in der darunterliegenden Bodenschicht kaum Nährstoffe für die Vegetation enthalten sind.

AUFGABEN

1. Vergleichen Sie den Nährstoffkreislauf der Mittleren Breiten mit dem des tropischen Regenwaldes und arbeiten Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede heraus (M1, Text).
2. Klima, Relief, Boden und Vegetation bedingen einander. Erläutern Sie diese Aussage (M1, M2).
3. Benennen Sie Potenziale und Grenzen des Ökosystems des tropischen Regenwaldes (M1, M2, Text).
4. E↑ Die Böden bilden die Grundlage für die Vegetation und die Nutzung durch den Menschen. Vergleichen Sie Aufbau sowie Verlagerungs- und Umbauprozesse der Böden der Mittleren Breiten mit denen der Böden der Inneren Tropen (M1 – M4, ▸ S. 148/149).
5. „Im tropischen Regenwald herrscht ein perfektes Zusammenspiel der Geofaktoren." Diskutieren Sie diese Aussage, aber auch, warum das Ökosystem als vulnerabel bezeichnet wird.

Die tropischen Regenwälder bilden ein – fast – geschlossenes System, in dem die Nährstoffe permanent zirkulieren – eine Art Recycling. Die meisten Nährstoffe sind in der Biomasse der vielfältigen Flora gespeichert. Sterben Pflanzen ab, werden diese schnell zersetzt und die freiwerdenden Nährstoffe werden von den Pflanzen sofort wieder aufgenommen. Dabei entsteht in den Böden ein Mangel an Phosphor. Auch das Regenwasser entzieht den Bäumen Nährstoffe wie z. B. Kalzium, Kalium und Magnesium, die zusätzlich von Epiphyten an den Stämmen und in den Kronenbereichen direkt aufgenommen werden. Lebenswichtig für die Wälder ist dabei das Zusammenspiel zwischen Baumwurzeln und Pilzen, den **Mykorrhiza**, die nicht nur den Zugang zu Nährstoffen und Wasser im Boden verbessern, sondern auch dafür sorgen, dass die Nährstoffe (insbesondere Stickstoff und Phosphor) sofort wieder aufgenommen werden und nicht im Boden versickern und damit ausgeschwemmt werden (M1).

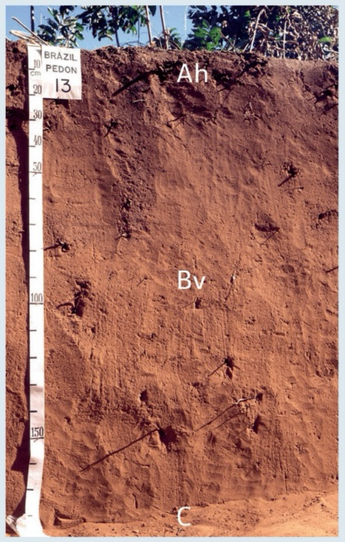
M2 **Der Nährstoffkreislauf – tropisches Recycling**



E↑ M3 **Aufbau, Verlagerungs- und Umbauprozesse im Boden**

Der **Latosol** (auch als Roterde oder Ferralsol bezeichnet) ist der vorherrschende Bodentyp der humiden Tropen. Er entwickelt sich als typischer Waldboden im tropischen Regenwald und im Bereich baumreicher Feuchtsavanne. Aufgrund hoher Temperaturen und starker Durchfeuchtung des Bodens wird die reichlich anfallende organische Substanz schnell humifiziert und mineralisiert, sodass sich ein nur geringmächtiger Ah-Horizont ausbildet. Der B-Horizont ist infolge der langen, nicht durch Kaltzeiten unterbrochenen Entwicklung intensiv chemisch verwittert (Bv) und relativ mächtig. Der Mineralbestand ist vollständig umgewandelt, wobei die gelöste Kieselsäure durch den stetigen Sickerwasserstrom nahezu vollständig ausgewaschen wird (**Desilifizierung**). Dies hat gleichzeitig eine Anreicherung von Aluminium- und Eisenoxiden zur Folge, was je nach Zusammensetzung eine Rotfärbung (durch Hämatit) oder Gelbfärbung (durch Goethit) des Bodens bedingt.

Latosole verfügen aufgrund ihres hohen Gehalts an Zweischichttonmineralen wie Kaolinit nur über eine geringe **Kationenaustauschkapazität** und sind demnach relativ unfruchtbar. Im natürlichen Ökosystem sorgt jedoch der kurzgeschlossene Mineralsalzkreislauf über Mykorrhiza-Wurzelpilze an mehrjährigen Pflanzen dafür, dass freigesetzte Pflanzennährstoffe direkt in die Pflanzen zurückgeführt werden (M1). Brandrodung setzt die Nährstoffe frei und ermöglicht für wenige Jahre eine ackerbauliche Nutzung. Danach sind die Böden erschöpft. Bei fehlender Pflanzendecke kommt es infolge tropischer Starkregen zur starken Erosion eines Latosols und zur **Lateritisierung**, d. h. zur Verkrustung der Aluminium- und Eisenoxide, was das Pflanzenwachstum sehr einschränkt bzw. vollkommen verhindert. Agroforstwirtschaft (*Ecofarming*, ▸ S. 66) imitiert den Stockwerkbau des Regenwaldes und sorgt auf diese Weise für den Erhalt der natürlichen Bodenfruchtbarkeit, wenn ausreichend Düngung zugefügt wird.



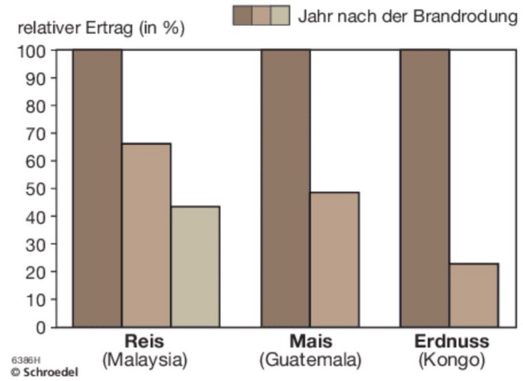
Ah
Auflage mit herabgefallenen Blättern, Ästen, sehr dünner humoser Oberboden (h: Humus)

Bv
mehrere Meter mächtiger, rotgefärbter Unterboden, der reich an Eisen- und Aluminium ist (v: verwittert)

C
tiefliegendes Ausgangsgestein

E↑ M4 **Latosol – typischer Boden der Immerfeuchten Tropen** (▸ S. 218/219)

M1 Fläche nach Brandrodung in Indonesien



M2 Ertragsentwicklung ausgewählter Anbauprodukte

Ist die traditionelle Nutzung des tropischen Regenwaldes nachhaltig?

Die tropischen Regenwälder bieten ein großes Potenzial: Biomasse, Artenvielfalt und auch scheinbar endlose Flächen. Indigene Völker beispielsweise nutzen die Möglichkeiten des Waldes, ohne ihn entscheidend zu verändern. Welche Faktoren muss man beachten, um nachhaltig zu bewirtschaften?

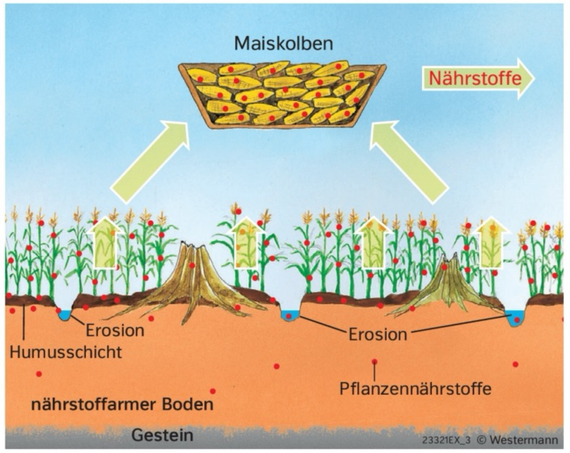
Die traditionelle Nutzungsform des tropischen Regenwaldes ist der **Wanderfeldbau** (***Shifting Cultivation***). Er wird meist zur Selbstversorgung betrieben (**Subsistenzwirtschaft**), wozu kleine Flächen mit der Hand unvollständig gerodet und große Teile der Vegetation verbrannt werden (Brandrodung, M1). Die mineralische Asche dient als reichhaltiger Dünger. Dieser steht aber nur kurzfristig zur Verfügung, weil der Boden die Mineralstoffe nicht absorbieren kann. Mittelfristig werden die Mineralstoffe zusammen mit der dünnen Humusauflage von den heftigen Niederschlägen ausgewaschen bzw. erodiert. Schon nach wenigen Jahren (M2) sind die Bäuerinnen und Bauern daher gezwungen, neue Flächen für den Anbau vorzubereiten, auch da die Erträge schnell sinken. Die Felder werden aufgegeben und bleiben brach liegen. Wilder Bewuchs (**Sukzession**) führt in der Regel zu einem **Sekundärwald** (M3), der zwar nicht alle Kennzeichen des ursprünglichen Waldes aufweist, aber bei ausreichender Ruhezeit eine erneute Nutzung möglich macht (M4). Damit wird eine nachhaltige Nutzung möglich: Die nachfolgenden Generationen können die Flächen erneut nutzen. Entscheidend sind dabei der Umfang des Eingriffs (Größe der Fläche, Umfang der Rodung) und die Dauer der Brache für die Regeneration der Fläche (M7).

AUFGABEN

1. Beschreiben Sie das Bild (M1) und schätzen Sie ab, wie gravierend der Eingriff in das Ökosystem ist.
2. Werten Sie die Graphik zur Ertragsentwicklung (M2) aus. Überlegen Sie Konsequenzen für die Nutzung.
3. Beschreiben Sie die jeweiligen Voraussetzungen für eine landwirtschaftliche Nutzung (z. B. von Mais) und erläutern Sie die veränderten Bedingungen für eine erneute Nutzung (M3 – M5).
4. Mit Terra Preta kann der Regenwald intensiver genutzt werden. Diskutieren Sie diese Möglichkeit (M8).
5. Wegen des Abbrennens der Vegetation ist der Brandrodungsfeldbau in der Kritik. Kann diese Nutzung als nachhaltig bezeichnet werden? Nehmen Sie dazu Stellung (M3, M5, M6, M7; Ergebnisse Aufgabe 1).

M3 Sekundärwald

M4 Mais- und Maniokanbau im tropischen Regenwald



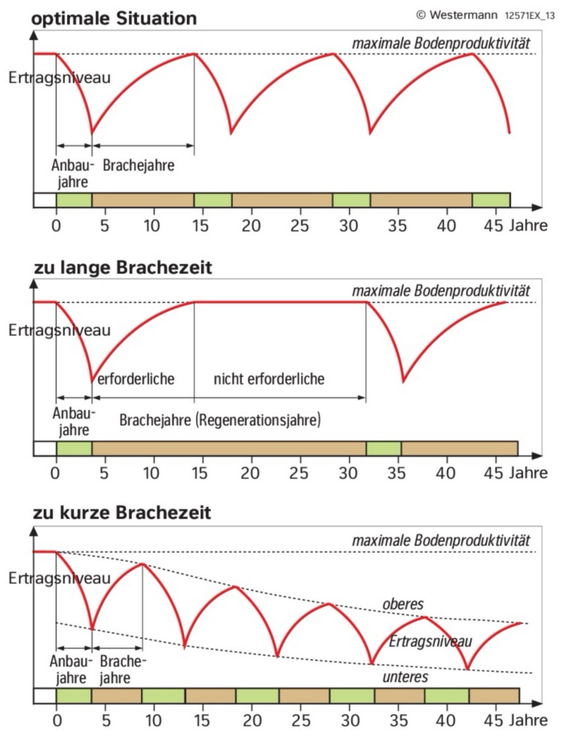
M5 Maisanbau – Folgen für den Nährstoffkreislauf

„Bei dem traditionellen Wanderfeldbau dürfte es sich wohl um ein Auslaufmodell handeln. Allein schon wegen seines großen Flächenaufwandes kann sich die Menschheit angesichts zunehmenden Bevölkerungsdrucks und schrumpfender Landreserven diesen Luxus nicht mehr lange leisten.

Die traditionelle *Shifting Cultivation* ist eine flächenaufwendige Produktionsform, die nur in sehr dünn besiedelten Regionen mit großen bewaldeten Landreserven funktionieren kann. Die Tragfähigkeit beträgt kaum mehr als 30 Personen pro Quadratkilometer und die Anbauweise ist sehr verschwenderisch: Um eine Tonne Getreide zu erzeugen, werden bis zu 300 Tonnen Biomasse geopfert. Schon jetzt hat die durchschnittliche Bevölkerungsdichte in den feuchten Tropen mit 55 Personen pro Quadratkilometer die Tragfähigkeit von *Shifting Cultivation* überschritten."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M6 Wanderfeldbau – ein Auslaufmodell?



M7 Bodenfruchtbarkeit in Abhängigkeit von Brache und Anbauzeiten

Als **Terra Preta** (portugiesisch für „schwarze Erde") wird ein Boden bezeichnet, der durch menschliche Bearbeitung entsteht und zum Beispiel im brasilianischen Amazonasbecken anzutreffen ist. Er ist somit kein natürlicher Boden, sondern zählt zu den anthropogenen Böden. Terra Preta besteht aus einer Mischung von Holz- und Pflanzenkohle, Dung und Kompost, ist aber auch durchsetzt mit weiteren Abfällen. Wegen der schwarzen Farbe und des Anteils an Kohlenstoff aus der Brandrodung wird Terra Preta auch als Schwarzerde bezeichnet. Aus bodenkundlicher Sicht ist es keine und hat auch keine Gemeinsamkeiten mit den fruchtbaren Schwarzerden (Tschernosem) der Steppen Russlands oder der Ukraine.
Ein wichtiger Bestandteil für die Entstehung der Terra Preta ist Pflanzenkohle oder Holzkohle. Nährstoffe kommen aus Abfällen, Dung oder Fäkalien. Mikroorganismen und Bodentiere bauen organische Substanzen ab und verlagern sie in die Tiefe, sodass über lange Zeiträume mächtige Horizonte entstehen können. Diese mächtigen Horizonte können Nährstoffe (z. B. Phosphor, Stickstoff) und Wasser speichern, anders zum Beispiel als die Latosole (▶ S. 61) im tropischen Regenwald. Terra-Preta-Böden sind also relativ fruchtbar.

M8 Terra Preta – von Regenwaldbewohnern kultivierter Humus

M1 **Holzentnahme und Abtransport (Indonesien)**

M2 **Anlage einer Palmölplantage (Malaysia)**

Eingriffe in das Ökosystem der Immerfeuchten Tropen

„Das Potenzial des Regenwaldes lässt sich gewinnbringend nutzen." Mit derartigen Thesen wird in Ländern der Immerfeuchten Tropen von Wirtschaft und Politik geworben. Doch welche Folgen entstehen daraus?

Die Nachfrage nach Produkten aus dem tropischen Regenwald, wie zum Beispiel nach Edelhölzern (Teak, Palisander), Palmöl, Soja oder Kautschuk, oder unser Konsum von (Rind-) Fleisch, führen dazu, dass Regenwälder gerodet, Plantagen oder Weideflächen angelegt, aber auch **Rohstoffexploration** vorangetrieben wird. Da der Aufwand, Rohstoffe abzubauen und landwirtschaftliche Produkte zu gewinnen relativ kostenintensiv ist, stehen ökologische Interessen oft im Hintergrund. Dann werden zum Beispiel Wälder komplett gerodet statt einzelne Bäume zu fällen (selektiver Holzeinschlag).
Doch jede Form der Nutzung hat Grenzen. Wenn die Regeneration einer genutzten Fläche nicht mehr möglich ist, wird die ökologische Tragfähigkeit überschritten – die Flächen stehen künftigen Generationen nicht mehr zur Verfügung. An der Natur wird Raubbau betrieben. Man spricht in diesem Fall vom **Raubbau-Syndrom** (▸S. 232/233).

AUFGABEN

1 Beschreiben Sie den Eingriff in den tropischen Regenwald (M1). Skizzieren Sie mögliche Folgen.
2 Vergleichen Sie die Nutzungsformen mit dem Aufbau des ursprünglichen Regenwaldes, indem Sie jeweils ein Wirkungsgefüge (▸S. 57: M3) zeichnen und die veränderten Prozesse daran erläutern:
a) für eine Palmölplantage (M2),
E↑ b) für Rinderweiden (M3).
3 Analysieren Sie die Karikatur (M4) und diskutieren Sie deren Aussage hinsichtlich Kaufentscheidungen.
4 Stellen Sie Vor- und Nachteile der Plantagenwirtschaft gegenüber (M5).
E↑ 5 Der Abbau von Rohstoffen wie zum Beispiel Gold oder Bauxit (M6, M7) ist sehr ertragreich. Recherchieren Sie zu dessen Auswirkungen und erörtern Sie, ob Lagerstätten weiter erschlossen werden sollen (▸S. 228).
6 Vulnerabilität des Regenwaldes vs. Interessen der Nutzung: Konzerne erschließen für uns Rohstoffe oder lassen Nahrungsmittel produzieren, Landlose und Kleinbauern suchen Land, um mit ihren Familien überleben zu können (M5, M6). Diskutieren Sie die Arten der Nutzung auf ihre Nachhaltigkeit (M8, ▸S. 211: M4) und nehmen Sie Stellung, welche Eingriffe in Zukunft möglich sein sollen.

E↑ M3 **Abgeholzter Regenwald für Rinderweiden (Brasilien)**

M4 **Karikatur**

In vielen Regionen wird die **Agrarkolonisation** vorangetrieben, da bei steigenden Bevölkerungszahlen Flächen für die Selbstversorgung benötigt werden. Doch selbst kleine Betriebe orientieren sich am Markt, d. h., die Produktion dient dem Verkauf (***Cash Crops***). Damit übersteigt der Flächenbedarf den des Wanderfeldbaus. Nachdem auch der Staat Interesse an wirtschaftlicher Entwicklung hat, werden Entwicklungsprogramme durchgeführt, von denen nicht nur die einheimische Bevölkerung profitiert. Firmen bis hin zu international tätigen Agrarkonzernen investieren zum Beispiel in Plantagen mit mehrjährigen Kulturpflanzen wie Ölpalmen, Bananen, Kautschuk, Zucker, Kakao oder Kaffee. Zwar reduzieren Plantagen die Bodenerosion, wenn sie dichte Wurzeln ausbilden, allerdings nur, wenn sie auch ein dichtes Blätterdach aufweisen, mit dem sie einen Großteil der Niederschläge abfangen sowie auch die Wucht der Starkregen auf den Boden mindern können. Bestands- und Ernteabfälle können zum Erhalt bzw. zur Ausbildung einer Humusschicht beitragen, um die ständig notwendigen mineralischen Düngergaben zumindest teilweise zu ersetzen; in der Regel kann nur durch zusätzliche Düngemittel die Produktion aufrechterhalten werden.

Der Nachteil aller **Monokulturen** ist ihre Anfälligkeit für Schädlingsbefall. Diese kann in der Regel nur durch einen hohen Einsatz von Insektiziden bzw. Pestiziden verhindert werden. Mit der einseitigen Nutzung geht in der Regel auch **Bodendegradation** einher: Dann werden Plantagen aufgegeben und neue Flächen gerodet.

Das hohe ökonomische Interesse hinter den meisten Plantagen führt dazu, dass diese auf möglichst großen Flächen unter dem Einsatz günstiger Arbeitskräfte effizient *Cash Crops* für den Weltmarkt produzieren sollen. Dabei haben ausländische Kapitalgesellschaften das Interesse, Gewinne für ihre Anteilseigner im Ausland abzuschöpfen – die Interessen und Bedürfnisse der Bevölkerung vor Ort werden zumeist nur am Rande berücksichtigt. Dies gilt besonders für indigene Gruppen, die im Regenwald leben.

M5 **Erschließung für das Land oder den Weltmarkt?**

Auf der Suche nach Gold graben Tausende Menschen im Regenwald und an den Flussläufen Südamerikas, z. B. in Venezuela, Ecuador, Peru und Brasilien. Dabei hinterlassen sie nicht nur Schlammwüsten und zerstörte Ökosysteme. Da bei der Goldgewinnung giftiges Quecksilber eingesetzt wird, kontaminieren sie zusätzlich angrenzende Gebiete.

E↑ M6 **Goldabbau im Amazonasgebiet**

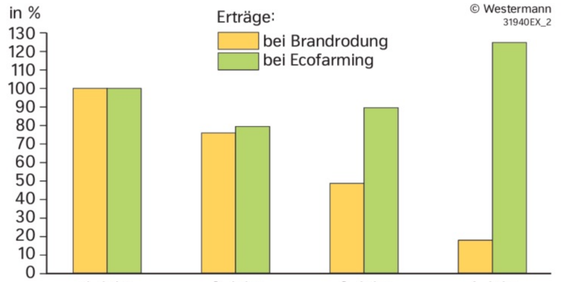
E↑ M7 **Bauxitabbau in Brasilien**

Wird ein Raum wegen seiner physisch-geographischen Ausstattung (Ökologie) z. B. landwirtschaftlich genutzt (Ökonomie), hat dies Folgen für die gesellschaftlichen Gruppen, die etwas anbauen oder für die sich durch den Anbau etwas ändert.

Bei der Nutzung von Räumen können sich verschiedene Interessen von beteiligten Gruppen (z. B. von Bewohnerinnen und Bewohnern, Politik, Unternehmen und Investoren) gegenüberstehen. Diese im Rahmen einer nachhaltigen Nutzung in Einklang zu bringen, stellt alle Beteiligten vor eine Herausforderung, welche nicht immer zur Zufriedenheit aller gelöst werden kann.

M8 **Sichtweisen auf die Nutzung**

M1 Agroforstwirtschaft



E↑ **M2** Ernteerträge bei Brandrodung und *Ecofarming*

Nachhaltige Nutzungsformen – *Ecofarming* und Agroforstwirtschaft

Die Inneren Tropen sind ein sensibles Ökosystem. Während indigene Völker sich an die Bedingungen angepasst und so über Jahrhunderte im tropischen Regenwald überlebt haben, wird das Ökosystem heute mit zum Teil fatalen Folgen genutzt. Dabei gibt es nachhaltige Nutzungsformen. Doch was muss beachtet werden bzw. wie müssen diese angelegt sein?

Das ***Ecofarming*** stellt eine ökologisch und sozioökonomisch angepasste Weiterentwicklung traditioneller Anbausysteme (z. B. dem Brandrodungs- bzw. Wanderfeldbau) dar. Dabei wird der Wald agrarisch nachhaltig und standortgerecht genutzt und damit den Bedingungen des Ökosystems Rechnung getragen. Das *Ecofarming* beinhaltet dabei eine Reihe von Verfahren, wie sie auch in der Landwirtschaft in den Mittleren Breiten zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zur Anwendung kommen: Kompostierung organischer Abfälle und deren Einarbeitung in die obersten Bodenhorizonte, Mulchen, Fruchtfolgen mit Anbau von Hülsenfrüchten (Leguminosen) als Stickstoffspeicher sowie integrierte Tierwirtschaft in Gebieten, die frei von Seuchen übertragenden Stechfliegen sind. Aus ökologischer Sicht vorrangiges Ziel des *Ecofarming* ist die Stabilisierung beziehungsweise Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch Aufrechterhaltung geschlossener Stoffkreisläufe mit großer Biomasseproduktion und großem Biomasseumsatz.

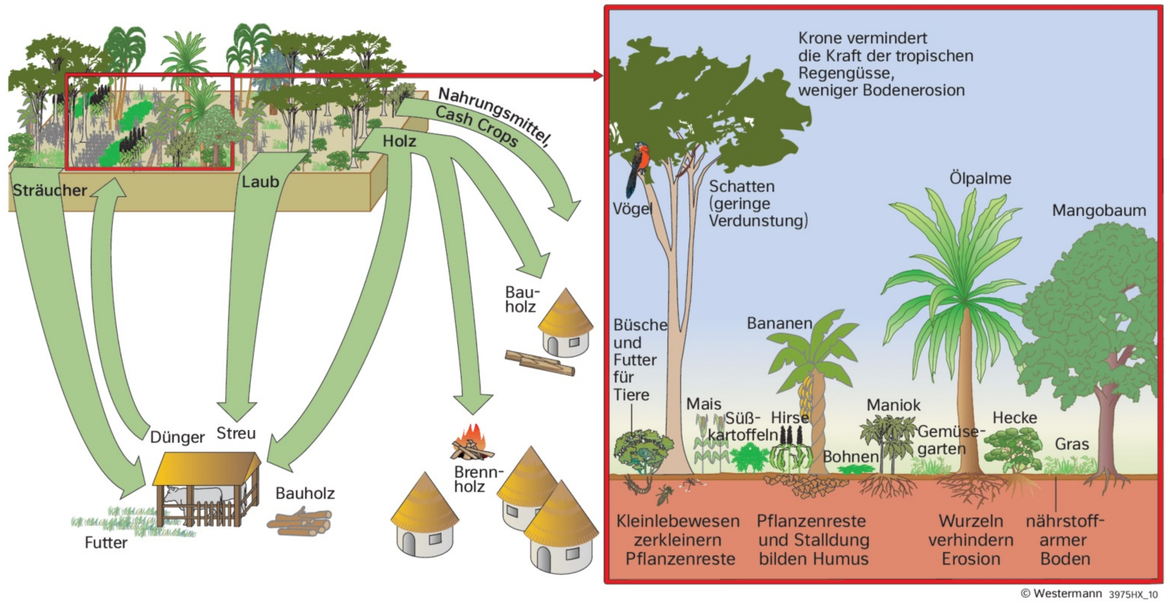
In den feuchten Tropen kommt eine Form der **Agroforstwirtschaft** zur Anwendung (M3). Hierbei wird der Wald in die landwirtschaftliche Nutzung integriert, zum einen, um Brenn- oder Nutzholz beziehungsweise Früchte zu produzieren, zum anderen, um das ökologische Wirkungsgefüge nicht zu unterbrechen. So wird beispielsweise über Etagenanbau der kurzgeschlossene Nährstoffkreislauf des tropischen Regenwaldes unter Mithilfe der Mykorrhizae beibehalten, auf ein vor den charakteristischen Starkregen und der intensiven Sonneneinstrahlung schützendes Laubdach (z. B. Kokospalmen) geachtet und der eigentliche landwirtschaftliche Anbau darunter integriert. Dies geschieht in Form von Feld- bzw. Dauerkulturen mit weiterer Stockwerkgliederung durch niedrigere Bäume (z. B. Kaffee) sowie Gemüse, Kräuter und Wurzelfrüchte (z. B. Maniok), die als Unterpflanzung integriert werden (M3).

AUFGABEN

1 Beschreiben Sie die besondere Art des Anbaus auf dem Bild (M1). Vergleichen Sie diese mit dem Aufbau des Regenwaldes bzw. einer Plantage.

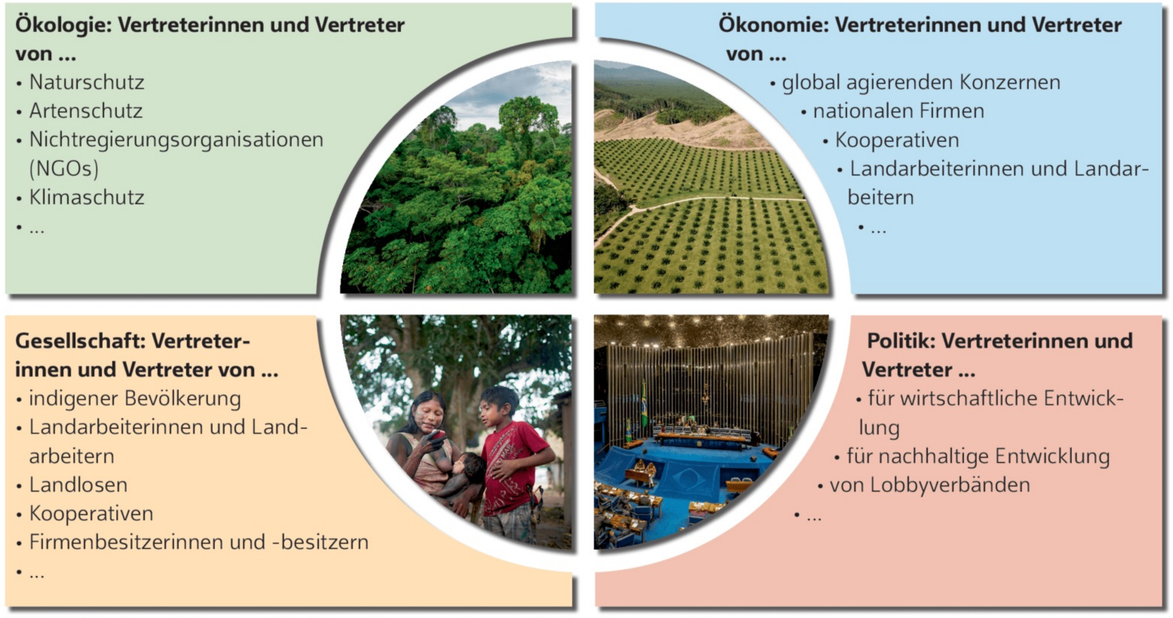
2 a) Erläutern Sie das Prinzip der Agroforstwirtschaft (M3).
b) Stellen Sie Bedingungen auf, die erfüllt sein müssen, damit eine Wirtschaftsweise in den Immerfeuchten Tropen als nachhaltig bezeichnet werden kann (▸ S. 64/65, S. 211).
c) Überprüfen Sie nach Ihren Vorgaben (Aufgabe 2b), ob die Agroforstwirtschaft eine nachhaltige Nutzungsform ist.

E↑ **3** Eine nachhaltige landwirtschaftliche Nutzungsform muss ökologische, ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigen. Wie sollen Flächen künftig und von wem genutzt werden?
a) Verteilen Sie verschiedene Rollen (M4). Recherchieren Sie zu diesen, sammeln Sie jeweils Argumente für einen begründeten Standpunkt (▸ S. 228).
b) Führen Sie eine Diskussion zur Fragestellung durch, in der jede Gruppe ihre Sichtweise einbringt.
c) Geben Sie dann eine gemeinsame, begründete Empfehlung für eine zukünftige Nutzung ab.

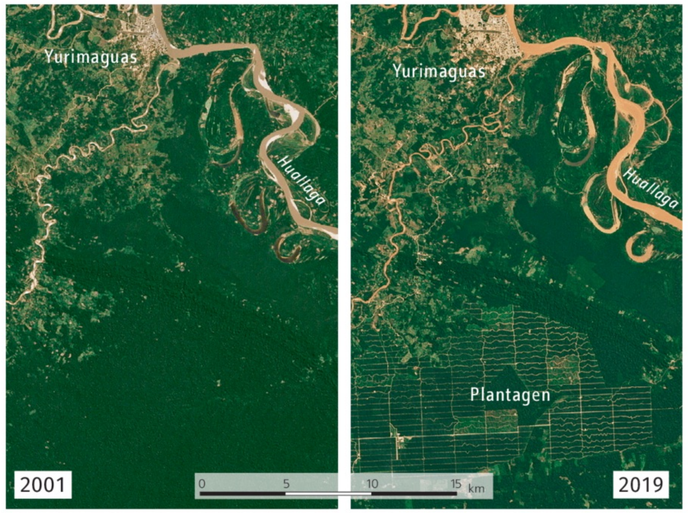


Eine nachhaltige Form der Landwirtschaft in den Tropen ist die Agroforstwirtschaft. Dabei werden die Bedingungen des tropischen Regenwaldes nachgeahmt. Einzelne Urwaldriesen bleiben stehen. In ihrem Schatten werden Fruchtbäume angepflanzt. Die Baumkulturen, Pflanzenreste und der Dung von Tieren sichern die Bodenfruchtbarkeit, sodass auch Feldfrüchte wie Süßkartoffeln gedeihen können.

M3 Agroforstwirtschaft – eine nachhaltige Nutzungsform im tropischen Regenwald



E↑ **M4** Rollenspiel zur nachhaltigen Nutzung des tropischen Regenwalds

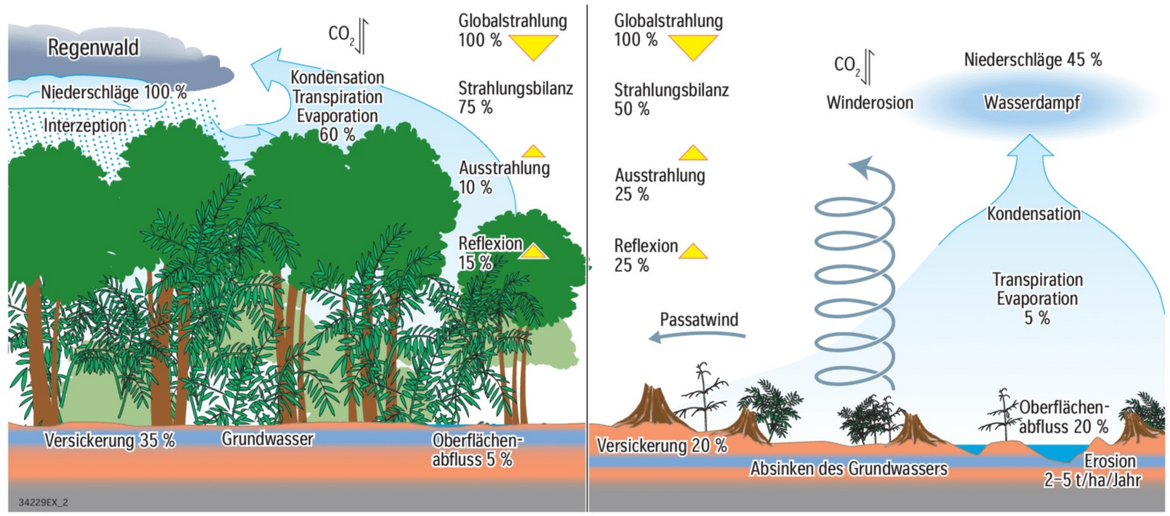


M1 Abholzung im Regenwald von Peru

„Einem 2019 veröffentlichten UN-Bericht zufolge sind etwa eine Million von geschätzt acht Millionen Tier- und Pflanzenarten, die es weltweit gibt, vom Aussterben bedroht. […] Gesunde Ökosysteme erbringen lebenswichtige Leistungen, die wir als selbstverständlich erachten. Pflanzen wandeln die Energie der Sonne um und machen sie für andere Lebensformen verfügbar. Organische Stoffe werden von Bakterien und anderen Lebewesen zu Nährstoffen abgebaut und versorgen Pflanzen mit gesundem Boden zum Wachsen. Bestäuber wiederum sind für die Reproduktion von Pflanzen unerlässlich und sichern unsere Nahrungsmittelproduktion. Wälder und Ozeane sind Kohlenstoffsenken. Der Wasserkreislauf ist stark von lebenden Organismen abhängig."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M2 Biodiversität – Rückgang der Arten



M4 Wasserkreislauf und Strahlungsbilanz in den Immerfeuchten Tropen vor und nach Abholzung des tropischen Regenwalds

Lokale Nutzung des tropischen Regenwalds mit globalen Folgen?

Täglich wird in den Regenwäldern der Erde gerodet. Inzwischen ist nachgewiesen, dass dies nicht ohne Folgen bleibt. Mehr noch: Die Rodungen könnten einen Kipppunkt (▸S. 45: M3) erreichen. Wird der Regenwald zur Savanne?

Der tropische Regenwald als Teil der Biosphäre nimmt lokal und global Einfluss auf das Klima, besonders über die verschiedenen Wechselwirkungen zwischen Mikro-, Meso- und Makroklima. Rodungen verändern den Strahlungshaushalt, das Mikroklima wird wärmer und trockener. Zusätzlich nimmt die Funktion als Wasserspeicher ab (M3). Wenn wegen eines trockeneren und wärmeren Klimas Vegetation abstirbt, wird zusätzlich Kohlenstoff freigesetzt und verstärkt den rezenten Klimawandel. Ergebnisse der Wissenschaft prognostizieren für den Regenwald Amazoniens, dass sich bei Erreichen eines Kipppunktes Savannen und Wüsten bilden können (M4).
Auch die Biodiversität im tropischen Regenwald ist gefährdet. Die rote Liste der gefährdeten Arten wird seit Jahren länger – möglicherweise mit Folgen für Pflanzen und Tiere (M2).

AUFGABEN

1 a) Verorten Sie die Satellitenbilder (M1, Altas).
b) Analysieren Sie die Satellitenbilder und stellen Sie Hypothesen zu den lokalen und globalen Folgen der Rodungen auf (M1, ▸S. 211, 221).
2 Werten Sie die Graphik zum Wasserkreislauf und zur Strahlungsbilanz aus (M4).
3 „Der Regenwald ist lebensnotwendiger Wasserspeicher und Klimaelement." Erläutern Sie diese Aussage (M4).
4 Erklären Sie die Folgen, die sich regional und global aus einer Savannisierung Amazoniens ergeben. Erstellen Sie dazu eine Conceptmap, die den Dominoeffekt visualisiert (M2, M4, M5, ▸S. 225).
E↑ 5 Definieren Sie den Begriff „ökologische Tragfähigkeit" und nehmen Sie Stellung, wann diese für den tropischen Regenwald überschritten sein könnte (M3, Recherche, ▸S. 228).

Zunehmend stellt sich die Frage: Wie hoch ist die Tragfähigkeit der Erde? Das heißt: Wie viele Lebewesen (insbesondere Menschen) können auf der Erde leben, ohne das globale Ökosystem dauerhaft zu schädigen? Die **ökologische Tragfähigkeit** gilt als überschritten, wenn der Wert des ökologischen Fußabdrucks (▸S. 87) den der verfügbaren **Biokapazität** überschreitet. Das bedeutet, dass ein Raum nicht genügend biologische Materialien produzieren und von Menschen erzeugte Abfallstoffe absorbieren kann, um eine dauerhafte Existenz der Menschen in diesem Raum zu gewährleisten. Durch zum Beispiel Raubbau oder Übernutzung sinkt die ökologische Tragfähigkeit eines Raumes.

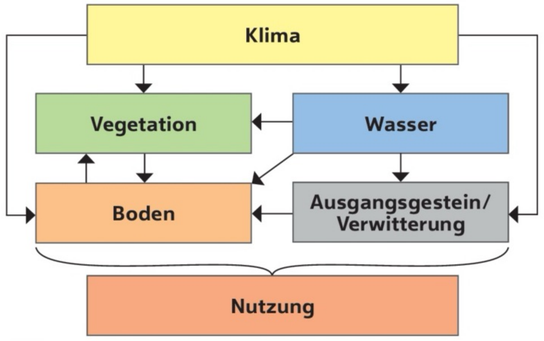
E↑ M3 Ökologische Tragfähigkeit

Die Degradierung und letztlich mögliche Zerstörung dieses einzigartigen Ökosystems erfolgt seit Jahrzehnten und hinterlässt dabei immer mehr austrocknende Gebiete (Dominoeffekt). Durch fortgesetzten Holzeinschlag, Brandrodungen, Dürren und das Fehlen des zuvor hausgemachten Regens gibt es in Amazonien inzwischen 20 – 30 Prozent weniger Regen. Selbst die einst feuchten, feuerresistenten Wälder in zentralen Teilen werden mit ihrer Auflichtung anfälliger für natürliche oder von Menschen gesetzte Feuer. Denn das Sonnenlicht kann dort länger ungehindert zum Boden vordringen und das Unterholz leichter entflammbar machen. Außerdem führen die steigenden Temperaturen zu einer höheren Verdunstung und begünstigen so die Trockenheit am Boden. Inzwischen zeichnet sich ein Muster ab, nach dem die immer stärker unter Trockenstress leidenden Wälder in Abständen von 5 bis 15 Jahren Feuer fangen, weil sich die Trockensaison in den Randgebieten verlängert und Dürreperioden häufiger werden (Resilienzverlust).
Der kritische Punkt, ab dem das bereits stark geschädigte Ökosystem kollabieren könnte, wird von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf 20 bis 25 Prozent Verlust der Gesamtfläche geschätzt. 17 Prozent des ursprünglichen Waldes im Amazonasgebiet sind bereits vernichtet, weitere 17 Prozent geschädigt. Der brasilianische Teil des Waldes besteht längst nicht mehr aus einer einheitlichen Fläche, sondern aus über 300 000 einzelnen Waldfragmenten.
Für brasilianische Forscherinnen und Forscher kündigt sich daher bereits ein Wandel zur Savanne an. Sie sehen in den schweren Dürren der Jahre 2005, 2010 und 2016 und den starken Überflutungen in den Jahren dazwischen Zeichen, dass das System zwischen Extremen zu taumeln beginnt. In komplexen Systemen gelten solche Oszillationen als mögliche Vorzeichen eines dramatischen Umschwungs. Wann genau der Kipppunkt rapide fortschreitender Austrocknung erreicht ist und eine Savannisierung eintreten wird, ist noch unklar. Schon 2050 könnte der Amazonasregenwald aber zu 40 Prozent abgestorben sein, zur Jahrhundertwende 2100 vielleicht sogar schon zu 90 Prozent. Die Hälfte der entwaldeten Fläche würde dann einer Savanne, die andere Hälfte einer Wüste gleichen. Die Region hätte dann ein neues und stabiles Gleichgewicht, aber auf einem völlig anderen, unvorhersehbaren Niveau.
Es gibt aber noch andere Faktoren, die zur Destabilisierung und Austrocknung Amazoniens auch zukünftig beitragen werden:

- Veränderungen der Oberflächentemperaturen im Pazifik und Atlantik: Auslöser der extremen Trockenheit im Jahr 2005 waren z. B. auch die hohen Wassertemperaturen in der Karibik. Diese führten dort zu einem erhöhten Aufstieg der Luftmassen. Die Luft wurde aus dem Amazonasbecken abgezogen und verminderte in Amazonien die Wolkenbildungen.
- Klimamodelle zeigen, dass es bis zum Jahr 2050 in Teilen der Sahara und der Sahelzone feuchter werden kann. Dann würden die Passate weniger Staub über den Atlantik verfrachten und diese Nährstoffdusche Amazoniens würde geringer ausfallen.

Die Folgen eines partiellen oder gar kompletten Zusammenbruchs der Weltklimamaschine und des Ökosystems Amazonasregenwald wären in vielerlei Hinsicht dramatisch: Südamerika drohte wohl großflächig auszutrocknen, eine wegen der enormen Biomasse wichtigsten Senken von Kohlenstoffdioxid würde zu einer der bedeutendsten Quellen von Treibhausgasen, traditionell lebende indigene Völker verlören ihren Lebensraum und ihre ökonomische Basis und die Welt verlöre mit der schwindenden Biodiversität der Lebewesen des Regenwalds einen unersetzlichen Genpool. Die Zeit eines Gegensteuerns ist sehr begrenzt.

M5 Veränderungen am Kippelement Amazonasregenwald



M1 Schema für ein Wirkungsgefüge

Ökosysteme der Wechselfeuchten Tropen

Mit zunehmender Entfernung vom Äquator verändern sich die Landschaften: Vom üppigen Bewuchs des Regenwaldes hin zu den Wüsten, denen jegliches Leben zu fehlen scheint.

Die Graslandschaften zwischen den tropischen Regenwäldern und den Wüsten im Bereich der Wendekreise werden als Savanne bezeichnet. Im ganzjährig tropisch warmen, wechselfeuchten Klima entscheiden nicht die Jahreszeit, sondern **Regenzeit** und **Trockenzeit** über die Wachstumsmöglichkeiten der Pflanzen. Die aride Zeit mit hoher **Evaporation** (Verdunstung) wird dabei mit größerer Entfernung vom Äquator immer länger und führt zu einer Unterteilung in **Feucht**-, **Trocken**- und **Dornstrauchsavanne**.

M2 Feuchtsavanne in Botsuana

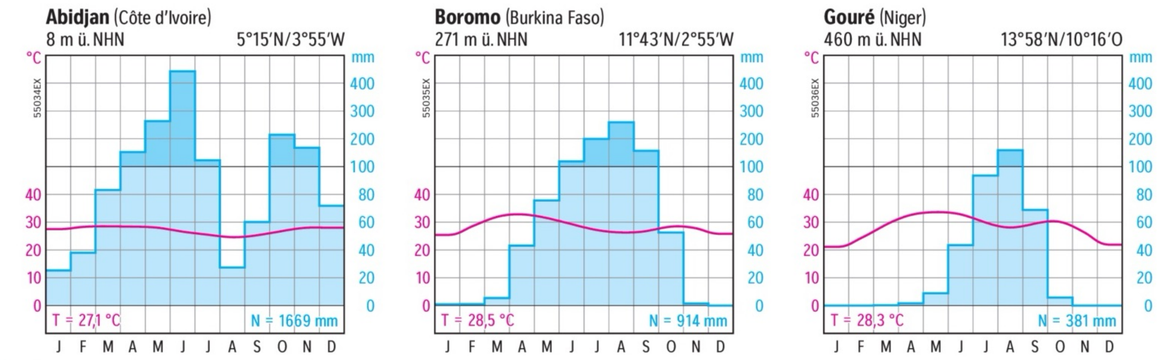
Gräser und Bäume schließen sich in ihren ökologischen Ansprüchen weitgehend aus. In Dürrezeiten vertrocknen die oberirdischen Grasbüschel, während Wurzeln und Knospen geschützt unter der abgestorbenen Pflanzendecke liegen. Da die **Transpiration** minimiert wird und das oberflächliche, dichte Wurzelsystem den Niederschlag in oberen Bodenschichten bindet, können Gräser auch bei weniger als 300 Millimeter Jahresniederschlag überleben. Dies können die Bäume aufgrund erhöhter Transpiration und damit höherem Wasserbedarf nicht.

Bei Jahresniederschlägen über 500 Millimeter dominiert der Baumbestand, da er durch seine Kronen Sonnenlicht und Niederschlagswasser abhält und so Gräser verdrängt.

M3 Ökologische Konkurrenz

M5 Trockensavanne in Tansania

M7 Dornstrauchsavanne in Namibia



M6 Klimadiagramme der Feucht-, Trocken und Dornstrauchsavanne

AUFGABEN

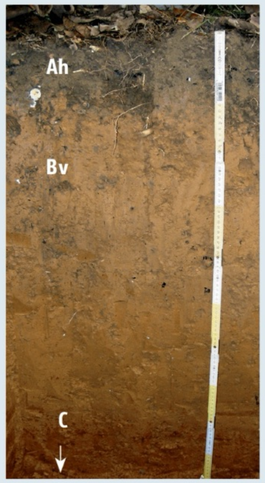
Vom Äquator zu den Wendekreisen ändern sich die Faktoren im Wirkungsgefüge (M1).

1 a) Werten Sie die Materialien zu den Ökozonen im Hinblick auf die im Wirkungsgefüge (M1) genannten Aspekte aus (M2, M3, M5 – M7, ▸ S. 72: M8).

E↑ b) Beschreiben Sie die Bodentypen und erläutern Sie deren Bedeutung für die Anbaumöglichkeiten (M4, ▸ S. 218/219).

2 Erstellen Sie zu den Ökosystemen der Wechselfeuchten Tropen jeweils ein Wirkungsgefüge, an dem die Zusammenhänge erklärt werden können. Nutzen Sie dazu M1 (▸ S. 225).

3 Präsentieren Sie die Ergebnisse und diskutieren Sie, welche der Zonen die besten Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Nutzung bietet (▸ S. 238).

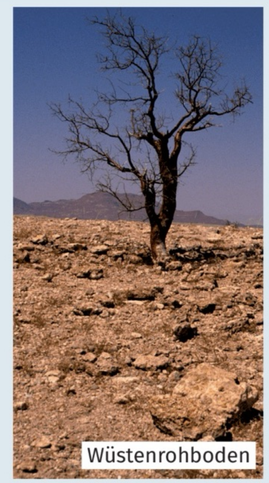


Acrisole sind typische Böden der Wechselfeuchten Tropen mit Rotfärbung und jahreszeitlich wechselndem Bodenwasserstrom. Wegen der in der Regenzeit intensiven **chemischen Verwitterung** zeigen die Savannenböden einige Merkmale wie Latosole (▸ S. 61: M4), jedoch weniger stark ausgeprägt: tiefgründig, feinkörnig, geringer Restmineralgehalt, überwiegend Kaolinit als Tonmineral, sauer. Die meisten Nährstoffe sind ausgewaschen, im Oberboden bleibt neben Aluminium (Al) und Eisen (Fe) auch noch Silizium (Si) erhalten (fersiallitische Böden gegenüber den ferrallitischen Regenwaldböden). Durch Auswaschung ist der Unterboden mit Ton angereichert. Die im Vergleich zu den Immerfeuchten Tropen geringere Zersetzung fördert die Humusakkumulation. Im Regenwald ist Humus vor allem als Kationenaustauscher und Nährstofflieferant bedeutsam, in den Wechselfeuchten Tropen vor allem für die Regulierung des Bodenwasserhaushalts. Durch Verbesserung der Infiltrationsrate wird die Erosionskraft der heftigen Platzregen etwas gemindert. Wegen höherem Nährstoffgehalt und besserer Düngeraufnahme sind die Savannenböden ertragreicher als die Latosole.

In der Trockenzeit kehrt sich der Bodenwasserstrom um. Kapillarer Aufstieg und starke Verdunstung führen zu oberflächennahen Ausfällungen von Karbonaten und Nährstoffen; Eisenoxide kristallisieren häufig im Unterboden als Hämatit aus. Wird die darüberliegende Schicht abgetragen, verhärtet dieser Bereich bei Luftzutritt zu betonharten Lateritkrusten.

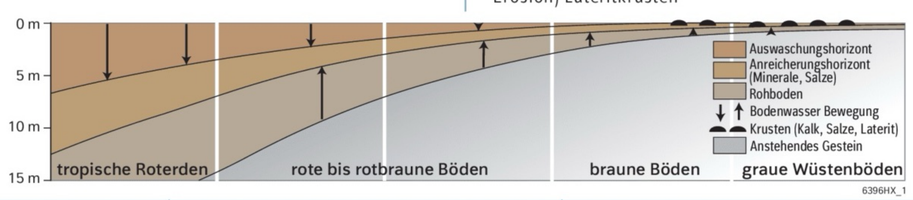
Die Mächtigkeit der Böden nimmt zu den Wendekreisen ab, ihre Färbung ändert sich von rot über rotbraun zu braun. Die braunen Böden der Dornstrauchsavanne sind jedoch stark erosionsgefährdet.

Im Übergangsbereich zu den Wüsten gibt es wegen Mangel an Wasser und Vegetation kaum organisches Material oder Bodensäuren. Außer der **physikalischen Verwitterung** fehlen daher alle anderen bodenbildenden Prozesse, oder sie können nur kurze Zeit nach Regenfällen ablaufen. Dann können die Böden noch passable Erträge liefern. Ist ein Feinboden deutlich erkennbar, spricht man vom **Wüstenrohboden** oder Skelettboden. Zu Verwitterungsarten siehe ▸ S. 77: M6.


Wüstenrohboden

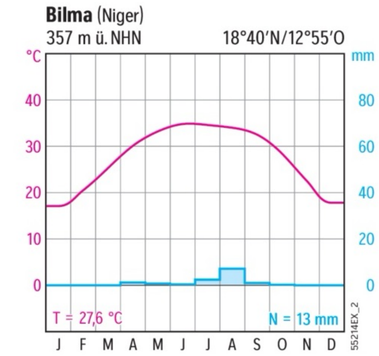
E↑ **M4** Rotbraune Savannenböden (Rotlehme = Acrisole)

Vegetationszone	Tropischer Regenwald	Feuchtsavanne	Trockensavanne	Dornstrauchsavanne	Wüste
Vegetation	• tropische, immergrüne Wälder mit unterschiedlichen Spezies • Stockwerkbau	• leicht geschlossene, regengrüne, tropische Wälder, die in der Trockenzeit Laub abwerfen • Sträucher und niedrige Bäume, die das ganze Jahr über Laub behalten • breitblättriges 2 – 5 m hohes Elefantengras • entlang der Flüsse z. T. immergrüne Galeriewälder	• Grasland (60 cm bis 1,5 m hoch) • mit einzelnen lichten, regengrünen Trockenwäldern • Baumkronen häufig schirmförmig ausgebildet; wirken so Bodenevaporation entgegen	• Gräser maximal kniehoch, jedoch geschlossener Bestand bei ausreichendem Niederschlag • kleinwüchsige Dornsträucher und vereinzelt stehende Bäume wie Akazien	• tropische Strauchhalbwüste bis tropische Wüste • Fels-, Kies-, Sandwüste • kaum/keine Vegetation, nur nach Regenfällen • Oasen
Trockenzeit in Monaten	0	2 – 6	6 – 8	8 – 10	> 10
Jahresniederschlag in mm	> 1500	> 1000	500 – 1000	250 – 500	< 250
Flusssysteme	• ganzjährig wasserführend • Wasserstand und Abflussmenge konstant	• meist ganzjährig wasserführend • Absinken von Wasserstand und Abflussmenge in der Trockenzeit		• periodisch wasserführend • Ausnahme: Fremdlingsflüsse aus äquatornahen Gebieten	• Wadis (Wadi: Bett eines Flusses in der Wüste oder der Savanne, der nur zeitweise Wasser führt)
Phytomasse in t/ha	300 – 650	50 – 350			4 – 10
Verwitterung c: chemische Verw., p: physikalische Verw.	c >> p	c > p	c = p	c < p	c << p
Bodentyp	tropische Roterden	rote bis rotbraune Rotlehme		braune Böden	graue Wüstenböden
Bodeneigenschaften	• schnelle Zersetzung des (in den Savannen während der Trockenzeit, im trop. Regenwald ganzjährig) anfallenden toten organischen Materials (z. B. durch Termiten) → nur geringe Streuauflage → geringe Humusschicht • geringe Fruchtbarkeit durch Auswaschung der Nährstoffe in den Unterboden • Rückstandsanreicherung schwer löslicher Elemente wie Eisen oder Aluminium (Bildung von Laterit)		• mineralstoff-/nährstoffreichere Böden • nach Regenzeit aufsteigender Bodenwasserstrom fällt Salze, Karbonate und Eisenverbindungen aus → an Oberfläche Salz-, Kalk- und (nach Freilegung durch Erosion) Lateritkrusten		Wüstenrohböden, initiale Bodenbildung
Wirtschaftliche Nutzung	• extensive Nutzung im Wanderfeldbau mit Brandrodung • z. T. marktorientierte Dauerkulturen • Plantagenwirtschaft • Forstwirtschaft	• extensiver Regenfeldbau als Landwechselwirtschaft überwiegend für Subsistenz • stationäre und nomadische Viehhaltung		• extensive Tierhaltung in Form von mobiler und stationärer Weidewirtschaft sowie Ranching • Regen- und Bewässerungsfeldbau	



M 8 Merkmale von Vegetation, Klima und Bodenbildung in den Tropen (▸ hinterer Einband)

M 1 Kalahari-Wüste (Namibia)



M 2 Klimadiagramm Bilma (Niger)

Das Ökosystem der Trockenen Tropen

Wüste, nichts als Wüste? Mit dem Begriff verbindet man meist eintönige und leblose Regionen. Doch findet sich in ihnen Leben mit hochspezialisierten Überlebenskünstlern.

In den Trockenen Tropen sind höchstens zwei der zwölf Monate des Jahres humid, in den übrigen Monaten herrschen aride Verhältnisse. Damit sind die Bedingungen für das Wachstum von Pflanzen sehr begrenzt und es finden sich in diesen Gebieten vor allem Halbwüsten und Wüsten. Dennoch gibt es Leben in diesen Regionen: Bei episodisch auftretenden Niederschlägen können diese innerhalb kurzer Zeit die Wüste zum Blühen bringen (M4). Um zu überleben, vermindern Pflanzen ihre Lebensfunktionen, reduzieren die Verdunstung durch kleine Blattoberflächen, speichern Wasser und können so viele Jahre ohne Regen überdauern.

Als Vegetation finden sich vor allem **Xerophyten** (Anpassung an extreme Trockenheit) und **Halophyten** (Pflanzen mit hoher Salzverträglichkeit). Dies sind Sträucher, Gräser und vereinzelte tiefwurzelnde Bäume, wie zum Beispiel Akazien in der Kalahari. Alle Pflanzen lassen sich in wassersparende, wasserspeichernde, unterirdisch überdauernde und in solche mit kurzer Vegetationszeit einteilen.
Eine Ausnahme in diesen Regionen bilden **Oasen**, die über eine relativ stabile Wasserquelle verfügen.

AUFGABEN

1 An den Wendekreisen herrschen Bedingungen, die ein (Über-)Leben unmöglich erscheinen lassen.
a) Werten Sie die Materialien zu der Ökozone der Trockenen Tropen aus (M1 – M3, ▸ S. 72: M8).
b) Erstellen Sie ein Wirkungsgefüge, an dem die Zusammenhänge der Klima- und Vegetationszone erklärt werden können (▸ S. 70: M1, ▸ S. 225).
c) Recherchieren Sie zusätzliche Informationen zum Nutzungspotenzial der Trockenen Tropen und bewerten Sie es (▸ hinterer Einband, ▸ S. 228).

2 „Die Wüste blüht“: Erklären Sie, wie es in der Wüste zu episodischen Niederschlägen und damit zu Leben kommen kann (M4, ▸ S. 23).

M 3 Wüstenpflanze *Welwitschia mirabilis*

M 4 Blühende Wüste Namib

Die meisten Nutzpflanzen wie Mais, Sorghum und Hirse oder *Cash Crops* werden im **Regenfeldbau** angebaut. Da er ohne Bewässerung auskommt, wird er auch als **Trockenfeldbau** bezeichnet.

M1 **Nutzung der Feuchtsavanne**

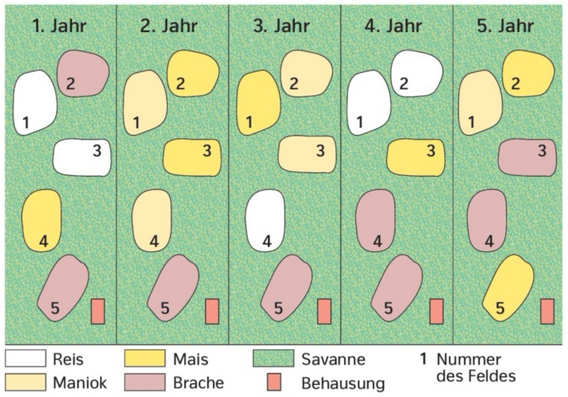
In den Wechselfeuchten, aber auch Immerfeuchten Tropen Afrikas wird Landwirtschaft mit überwiegend traditionellen Arbeitsgeräten bei geringer Arbeits- und Flächenproduktivität betrieben. Die vorherrschende Landnutzungsform ist die **Landwechselwirtschaft**.
Im Gegensatz zum Brandrodungsfeldbau mit erzwungener Verlegung der Felder und Siedlungen wegen hoher Ertragsrückgänge (▸S. 62: M2) ist sie ein stationäres System und wird somit vom festen Wohnsitz aus betrieben. Hierbei werden einzelne Flächen für eine gewisse Zeit nicht genutzt, das heißt brach gelegt, und die Art der Anbauprodukte auf den verbleibenden Flächen regelmäßig gewechselt. Die Dauer der Brache spielt dabei eine große Rolle (▸S. 63: M7). Dabei wird das Wachstum der Bevölkerung und dadurch die Abnahme der Anbaufläche pro Person zur Herausforderung. Viele Länder Afrikas weisen stark wachsende Bevölkerungen auf.

M2 **Landwechselwirtschaft**

Nutzung der Wechselfeuchten Tropen

Mit der Entfernung vom Äquator und damit von den Inneren Tropen verändern sich mit den abnehmenden Niederschlägen die Möglichkeiten der Nutzung. Können die Savannen – trotz der Einschränkungen – ertragreich genutzt werden?

Die Wechselfeuchten Tropen lassen sich von ihren naturräumlichen Voraussetzungen her besser nutzen als die benachbarten Landschaftszonen. Gründe dafür sind die mit abnehmendem Niederschlag mineralstoffreicheren Savannenböden, die wegen der relativ offenen Landschaften leichter zu handhabende Brandrodung, weite Grasfluren für die Viehweiden und eine starke Sonneneinstrahlung gegen Ende der Regenzeit. Während in der Feuchtsavanne Ackerbau betrieben werden kann, nimmt zur Dornstrauchsavanne hin die Viehhaltung bis hin zum Nomadismus zu.

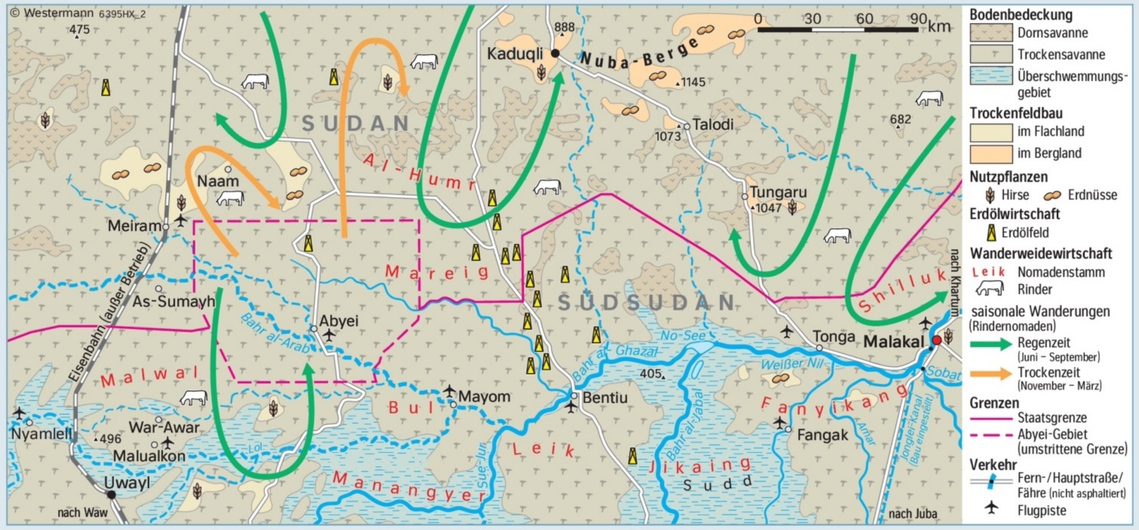


M3 **Schema zur Landwechselwirtschaft**

M4 **Erdnussplantage in der Feuchtsavanne (Vietnam)**

AUFGABEN

1. a) Stellen Sie anhand der Bilder und Ihres Wissens Hypothesen zur Nutzung der Ökozonen auf.
   b) Erläutern Sie, ob Kennzeichen für eine angepasste Nutzung erkennbar sind.
2. Vergleichen Sie die (typischen) Bewirtschaftungsformen (Text, M1 – M5, Recherche, ▸S. 228). Erstellen Sie dazu Steckbriefe und stellen diese vor.
3. Begründen Sie, warum der Nomadismus eine angepasste Landnutzung darstellt (M5).
4. Erörtern Sie die Bewirtschaftungsformen unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit (▸S. 211).



Die **extensive Viehhaltung** konzentriert sich auf die trockeneren Savannengebiete. In den von der Tsetsefliege bewohnten semihumiden Gebieten Afrikas ist die Viehbesatzdichte aber geringer. Diese Fliege kann Erreger verschiedener Krankheiten übertragen, sowohl auf den Menschen (z.B. Afrikanische Schlafkrankheit) als auch auf Rinder.
Eine Jahrtausende alte Lebens- und Wirtschaftsweise ist der **Nomadismus**. Dieser beruht auf der mobilen Tierhaltung, bei der die Nomaden jährlich bis zu 1000 Kilometer zwischen den saisonalen Weidegebieten zurücklegen. Er wird heute zunehmend von Formen stationärer Tierhaltung verdrängt, denn viele Nomaden sind sesshaft geworden. Sie hüten ihre Herden auf Weiden in der Nähe ihrer Häuser oder suchen nur noch gelegentlich die traditionellen Weideplätze auf. Einige von ihnen produzieren gezielt für den wachsenden heimischen Fleischmarkt, wobei sie ihre Tiere zum Teil auf Lkw dorthin transportieren.

M5 **Landnutzung in der Trocken- und Dornstrauchsavanne: Nomadismus**

Auf den Grasflächen der Trockensavanne kann sowohl Ackerbau als auch Viehwirtschaft betrieben werden. Der Regen- oder auch Trockenfeldbau ist ganz von der Ergiebigkeit der Zenitalregen abhängig, denn die nutzbaren Wasservorkommen sind begrenzt. Dabei ist die Dürregefährdung der Trockensavannen sehr hoch. In der Regenzeit reicht der Niederschlag nur für eine Ernte. So werden zum Beispiel Hirse, Mais, Bohnen und Maniok angebaut, die eher anspruchslos sind und auch auf nährstoffarmen Böden und unter den schlechten klimatischen Bedingungen wachsen. Zu den klassischen *Cash Crops* der Trockensavanne zählen Erdnüsse und Baumwolle.

M6 **Landnutzung in der Trockensavanne**

Aufgrund der großen Niederschlagsvariabilität haben sich schon früh Methoden herausgebildet, um das Regenwasser zu sammeln (***Rainwater Harvesting***). Dazu zählt zum Beispiel die Anlage von Dämmen, Terrassen, Kanälen und Zisternen (Foto).
Sie dienen primär dazu, die geringen Niederschläge in den Trockengebieten aufzufangen und zur Bewässerung zu nutzen. Durch diesen Bewässerungsfeldbau wird eine ausreichende Vegetationszeit erreicht. Saisonaler Feldbau mit zahlreichen einjährigen Arten wie Reis, Mais oder Kichererbsen sowie die Tierhaltung finden vorwiegend in kleinen Familienbetrieben statt.

M7 **Bewässerungsfeldbau in Trockengebieten**

M1 Wüste auf der Sinai-Halbinsel (Ägypten)

M2 Atacamawüste (Chile)

E↑ Genese und Verbreitung von Wüsten

Für die einen sind Wüsten trostlos und abweisend, andere planen Reisen oder Expeditionen in diese lebensfeindlichen Regionen, um den Reiz der abwechslungsreichen Landschaften und ihrer Bewohner zu erleben. Wo und wie entstehen Wüsten?

Wüsten bilden sich unter ariden Klimabedingungen mit über zehn Trockenmonaten, einem Jahresniederschlag von weniger als 250 mm, meist durch episodische Starkregenfälle, die oft jahreszeitlich nicht gebunden sind. Wüsten schließen sich in der Regel an Trockensteppen oder Dornstrauchsavannen (z. B. in Afrika) an. In Halbwüsten gibt es nur offene Pflanzenbestände, die wegen der Wurzelkonkurrenz um das spärliche Bodenwasser so aufgelockert sind, dass der größte Teil der Bodenoberfläche unbedeckt ist. Bei den Vollwüsten ist der Boden über den größten Teil des Jahres völlig vegetationslos. Die starken Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht führen dazu, dass die Gesteine über die Verwitterung (▸ S. 162/163) zerkleinert werden und dabei die verschiedenen Wüstenarten ausbilden (M6). Die Niederschläge sind an den Zenitstand der Sonne gekoppelt und fallen als Schauer oder Gewitter eher kleinräumig und mit einer hohen räumlichen, zeitlichen und mengenmäßigen Variabilität.

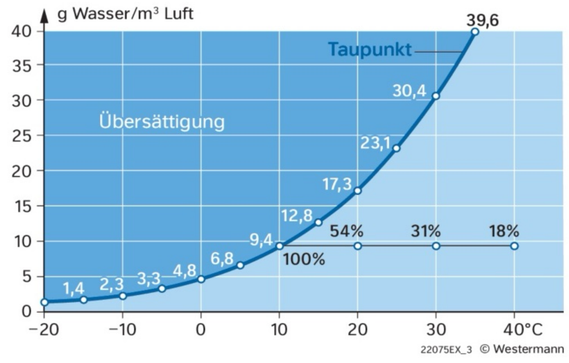
AUFGABEN

1. Beschreiben Sie die Bilder. Begründen Sie, ob sie Ihre Vorstellungen von Wüste erfüllen (M1, M2).
2. Wüsten entstehen unter unterschiedlichen Bedingungen.
   a) Arbeiten Sie jeweils die Entstehung und die Lage des Vorkommens für den Wüstentyp aus dem Zusammenspiel von atmosphärischer bzw. mariner Zirkulation heraus (M3 – M5, M7, M8, ▸ S. 22/23, 32/33).
   b) Erklären Sie die Verbreitung der Wüsten auf den verschiedenen Kontinenten (Atlas).
3. Stellen Sie dar, unter welchen Bedingungen es in der Wüste zu Niederschlägen kommen kann (M3).
4. „Wüste ist nicht gleich Wüste." Erläutern Sie den Satz anhand der Graphik zur Genese von Wüstenarten (M6).
5. Saharastaub erreicht immer wieder Europa. Recherchieren und erklären Sie, wie es zu diesem Phänomen kommt (▸ S. 22–27, ▸ S. 228).

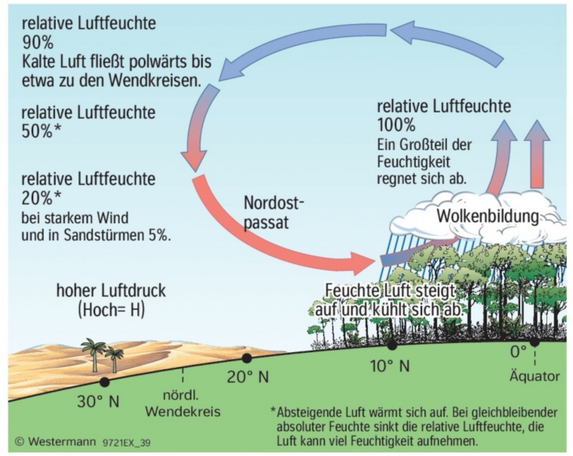
Die Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes wird in g/m³ angegeben und heißt **absolute Feuchte**. Wie viel Wasserdampf von der Luft maximal aufgenommen werden kann (maximale Feuchte), hängt von der Temperatur ab und lässt sich aus der Taupunktkurve (M4) entnehmen. Der Taupunkt ist diejenige Temperatur, bei der Wasserdampf kondensiert. Das Verhältnis von absoluter zu maximaler Feuchte wird als **relative Feuchte** bezeichnet und in Prozent angegeben (z. B. bei 9,4 g/m³ Luft und 40 °C: 18 %) Beim Erreichen des Taupunkts beträgt die relative Feuchte 100 Prozent – die Luft kann keinen zusätzlichen Wasserdampf mehr aufnehmen. Je geringer die relative Feuchte, desto mehr Wasser kann die Luft noch aufnehmen.

In den heißen Wüsten der Erde ist die relative Luftfeuchte extrem gering. Infolge der hohen Temperaturen wegen der Wolkenlosigkeit ist die Sonneneinstrahlung oft intensiver als am Äquator. Noch wichtiger ist jedoch, dass die Luftmassen über den Wüsten besonders trocken sind, da sie ihre Feuchtigkeit schon in anderen Gebieten abgegeben haben.

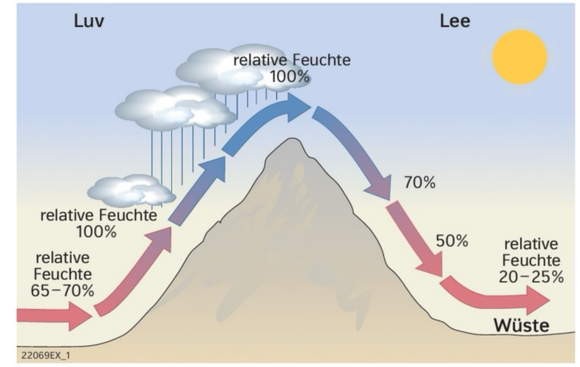
M3 Wasser in der Atmosphäre – relative und absolute Feuchte



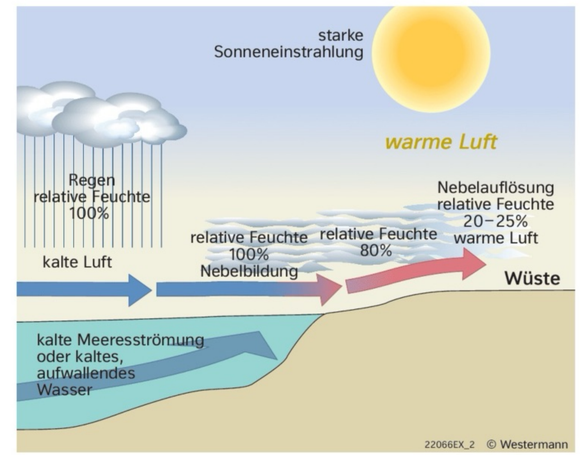
M4 Taupunktkurve



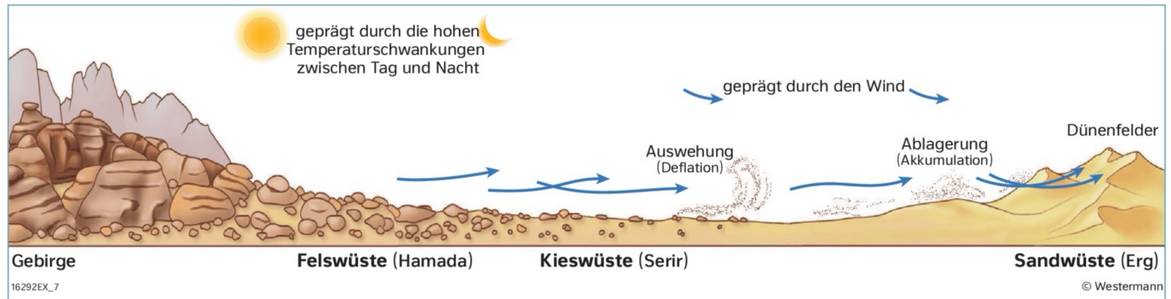
M5 Entstehung von **Wendekreiswüsten**



M7 Entstehung von **Binnenwüsten** (▸ S. 17: M6)



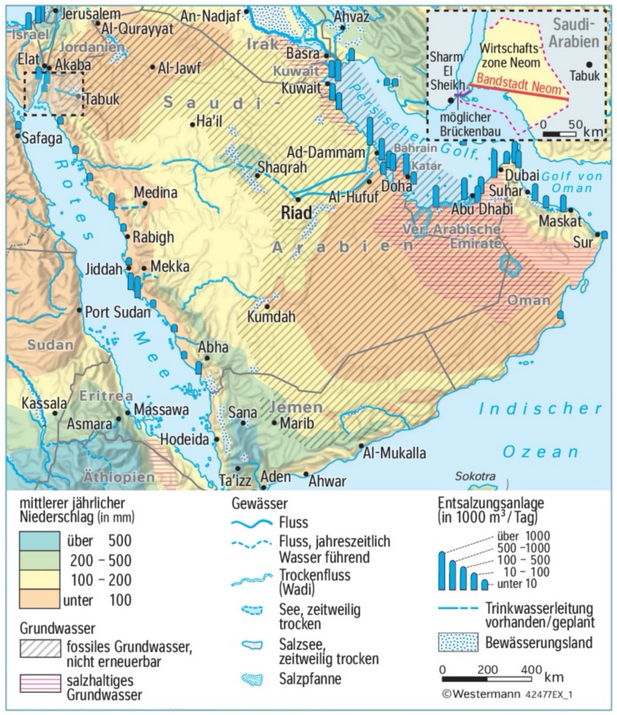
M8 Entstehung von **Küstenwüsten**



Bei der **physikalischen Verwitterung** kommt es zu einer mechanischen Zertrümmerung des Gesteins. Die hohen Temperaturen am Tag und die starke Abkühlung in der Nacht – Temperaturen unter 0 °C sind möglich – führen zu einem Wechsel von Ausdehnung und Zusammenziehen des Gesteinsmaterials, was im Laufe der Zeit Partikel lockert und löst.

Bei der **chemischen Verwitterung** wirken meist hohe Temperaturen, Wasser und Säuren mit. Dabei kommt es zu einer Umwandlung kristalliner Gesteine, zur Zerstörung ihrer Kristallgitter bzw. zu ihrer Auflösung (z. B. tiefgründige Auslaugung der tropischen Böden).

M6 Entstehung der Wüstenarten (in Klammern: übliche Bezeichnungen in Nordafrika)



M1 Wasserdargebot und -gewinnung in Saudi-Arabien und angrenzenden Staaten

AUFGABEN

1 Saudi-Arabien ist ein von Wüsten geprägter Staat mit wachsender Bevölkerung.
a) Werten Sie das Klimadiagramm zu Al-Quarayyat aus (M2, ▸S. 222/223).
b) Beschreiben Sie den Landschaftsausschnitt (M5).
c) Schätzen Sie Möglichkeiten für die landwirtschaftliche Nutzung ein (M1).

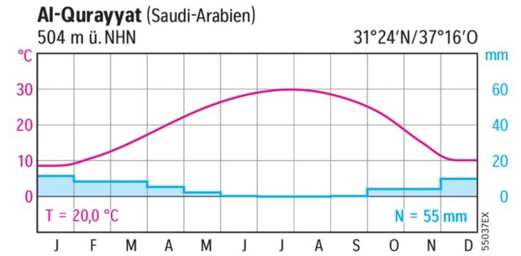
2 Die Bewässerung erfolgt größtenteils aus Grundwasser und fossilen Quellen, die sich nicht regenerieren können.
a) Erörtern Sie die Nachhaltigkeit angesichts der Bevölkerungsentwicklung und des Wasserbedarfs (M3, M4).
b) Diskutieren Sie Alternativen zur derzeitigen Praxis (M1, M5, M6).

3 a) Die Wüsten gelten als zukunftsträchtige Standorte für Solarparks und Projekte wie Neom. Informieren Sie sich anhand der Materialien (M7 – M9) über den aktuellen Stand der Projekte.
b) Überprüfen Sie die gesetzten Ziele bezüglich Nachhaltigkeit bzw. Zukunftsfähigkeit (▸S. 211: M4).

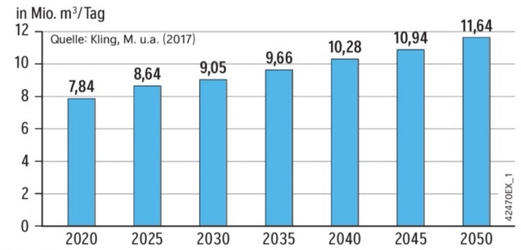
E↑ Saudi-Arabien – ökonomisch und ökologisch nachhaltige Nutzung der Wüste?

Saudi-Arabien besteht zum größten Teil aus Wüste. Der Staat möchte sich angesichts einer wachsenden Bevölkerung neue wirtschaftliche Möglichkeiten erschließen. Was ist möglich und wie nachhaltig sind die Projekte?

Traditionell waren Oasen wegen ihrer Wasservorkommen Siedlungspunkte in der Wüste. Heute wird mit Technik fossiles Grundwasser genutzt (M6). Doch die Vorräte sind endlich. Alternativen bietet die Meerwasserentsalzung, doch angesichts des hohen Energieverbrauchs werden immer wieder kritische Stimmen laut. Gleichzeitig entstehen in der Wüste großflächige Projekte zur Gewinnung von Solarenergie (M8, M9).



M2 Klimadiagramm von Al-Qurayyat

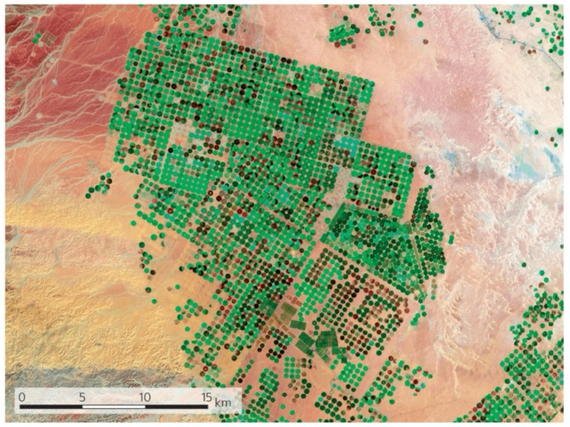


M3 Geschätzter Wasserbedarf in Saudi-Arabien

	2010	2015	2020	2035
Bevölkerung gesamt (in Mio.)	27,4	31,7	34,8	41,1
Riad (in Mio.)	5,2	6,2	7,2	9,1
Jiddah (in Mio.)	3,4	4,0	4,6	5,7
Mekka (in Mio.)	1,5	1,8	2,0	2,5

2035: Projektion; Quelle: United Nations

M4 Bevölkerungsentwicklung in Saudi-Arabien



M5 Landwirtschaft im Nordwesten Saudi-Arabiens bei Al-Qurayyat (Kreisbewässerung)

Aufgrund der geringen Niederschläge erfolgt in Saudi-Arabien die Versorgung mit Wasser (u. a. für die Landwirtschaft) hauptsächlich aus Grundwasser, dessen Verfügbarkeit je nach Region stark variiert. Neben diesem erneuerbaren Grundwasser wird auch **fossiles Grundwasser** entnommen. Diese Reservoirs liegen in einer Tiefe von 500 bis 1500 Metern. Wird zu viel Grundwasser gefördert, sinkt der Grundwasserspiegel und die Brunnen versiegen.

M6 Wasserversorgung in Saudi-Arabien

2017 gab der Kronprinz von Saudi-Arabien den Bau einer neuen Stadt in der Wüste bekannt. Das 500 Milliarden US-Dollar teure Projekt Neom im Nordwesten des Königreichs soll verschiedene Nachhaltigkeitsstandards erfüllen, z. B. eine Wasserversorgung durch Meerwasserentsalzungsanlagen und Niederschläge aus künstlich erzeugten Regenwolken sowie eine Stromversorgung aus erneuerbaren Energien (vor allem Sonne und Wind). (Noch verbraucht Saudi-Arabien etwa 1,5 Mio. Barrel Erdöl täglich allein für die Entsalzung von Meerwasser.) Die Stadt wird als schmales, 170 Kilometer langes Band geplant. Die seit Jahrhunderten hier lebenden, noch etwa 20 000 Beduinen sollen entschädigt und umgesiedelt werden.

M7 Bandstadt Neom, auch genannt *The Line*

M8 Solarpark in der Wüste Saudi-Arabiens in der Nähe der Hauptstadt Riad

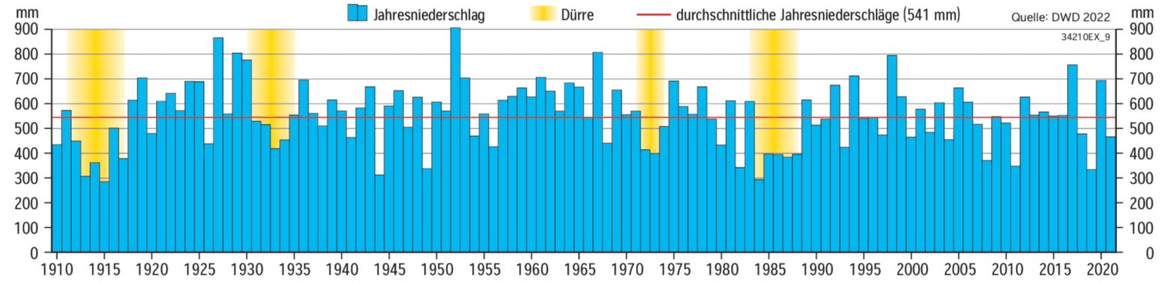
Erneuerbare Energien wie Windkraft und Solarenergie sind in der Wüste Saudi-Arabiens in ausreichendem Maß verfügbar. Erst 2021 wurde in Saudi-Arabien ein 300-MW-Solarkraftwerk eingeweiht. Ein 1500-MW-Solarkraftwerk ist in Planung und soll durch einen indischen Konzern in den nächsten Jahren errichtet werden. Und bis 2030 soll für etwa 200 Milliarden US-Dollar ein Kraftwerk mit einer Leistung von 200 000 MW in der saudi-arabischen Wüste stehen. Es wäre das größte der Welt.

Rund 60 Prozent des Landes, etwa 1,3 Millionen Quadratkilometer, sind von Wüsten bedeckt. Platz genug also, um für die Zeit nach Erdöl und Erdgas gerüstet zu sein, um günstig Strom zu produzieren, nicht nur für die eigene Bevölkerung, sondern auch für den Export. So könnte zum Beispiel mithilfe von Sonnenenergie Wasserstoff hergestellt werden, der dann in alle Welt verschifft wird – auch nach Europa.

Neben der Einsparung von Treibhausgasen wären auch positive Auswirkungen auf das Mikroklima denkbar. Zwei Forscher haben in einem Modellversuch in der Sahara festgestellt, dass ausgedehnte Solaranlagen in der Wüste die Albedo der Erdoberfläche verringern und so aufheizend wirken können. Das wiederum würde die nächtliche Auskühlung reduzieren. Im Umfeld von großen Windkraftanlagen in der Wüste hatten sie eine Erhöhung von Niederschlägen um bis zu 0,25 Millimeter pro Tag gemessen.

Damit diese Auswirkungen im Modell auch in der Realität greifen, müssten allerdings riesige Flächen mit Solar- und Windkraftanlagen bedeckt sein. Dies erscheint zurzeit nicht realistisch. Auch wenn zum Beispiel bei Sakaka Sonnenkollektoren scheinbar bis an den Horizont reichen, das Solarkraftwerk dort misst lediglich sechs Quadratkilometer – viel zu wenig angesichts der wirklich bis an den Horizont reichenden Wüste.

M9 Möglichkeiten der Stromerzeugung in Saudi-Arabien



M1 Niederschlagsvariabilität in Niamey (Niger)

Desertifikation – Menschengemachtes Sahel-Syndrom?

Jahr für Jahr gehen weltweit etwa 50000 Quadratkilometer fruchtbarer Boden verloren. Besonders betroffen ist dabei die Sahelzone. Die Gründe sind vielfältig und komplex. Warum spricht man vom Krankheitsbild Sahel-Syndrom?

M2 Desertifikation in Burkina Faso

Im Sahel, dem Südrand der Sahara (M4), variieren Menge, räumliche und zeitliche Verteilung der Niederschläge (**Niederschlagsvariabilität**, M1). Zudem haben in den letzten Jahren – bedingt durch den rezenten Klimawandel – regional Dürreperioden zugenommen. Diese Entwicklung führt zu Ernteverlusten und damit zu Problemen bei der Nahrungsmittelversorgung. Da zudem in vielen Staaten eine starke Bevölkerungszunahme zu verzeichnen ist, kommt es zu einer erhöhten Nachfrage nach Wasser, landwirtschaftlicher Nutzfläche und Holz. Die Folgen sind eine Übernutzung der Anbauflächen (z. B. durch zu kurze Brache), Grundwasserabsenkung (z. B. bei Bewässerungsfeldbau), Überweidung und Entwaldung. Bodendegradation und schließlich **Erosion** sind das Ergebnis. Die Flächen sind nicht mehr nutzbar, Wüste breitet sich aus. Aufgrund dieser anthropogen verursachten **Desertifikation** ist die betroffene Bevölkerung oft zur Migration gezwungen.

Das Zusammenwirken von verschiedenen komplexen Prozessen, die dazu führen, dass sich Boden bzw. Vegetation nicht mehr regenerieren können und die Wüste sich ausbreitet, wird als ein Krankheitsbild in der Mensch-Umwelt-Beziehung beschrieben. Es wird auch **Sahel-Syndrom** genannt (▸ S. 232/233).

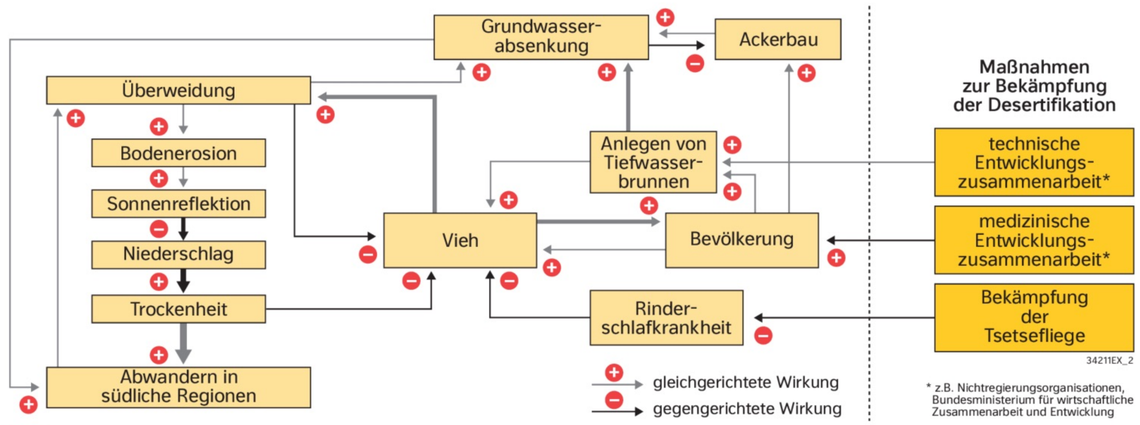
	1971	1991	2021
Einwohner (in Mio.)	5,7	9,4	22,1
Ackerfläche (in Mio. ha)	4,8	8,7	17,6
Rinder (in Mio.)	2,6	4,0	10,4
Schafe und Ziegen (in Mio.)	4,2	11,9	28,4
Quellen: Weltbank 2023, FAO 2023 (Angaben gerundet)			

M3 Überweidung – Beispiel Burkina Faso

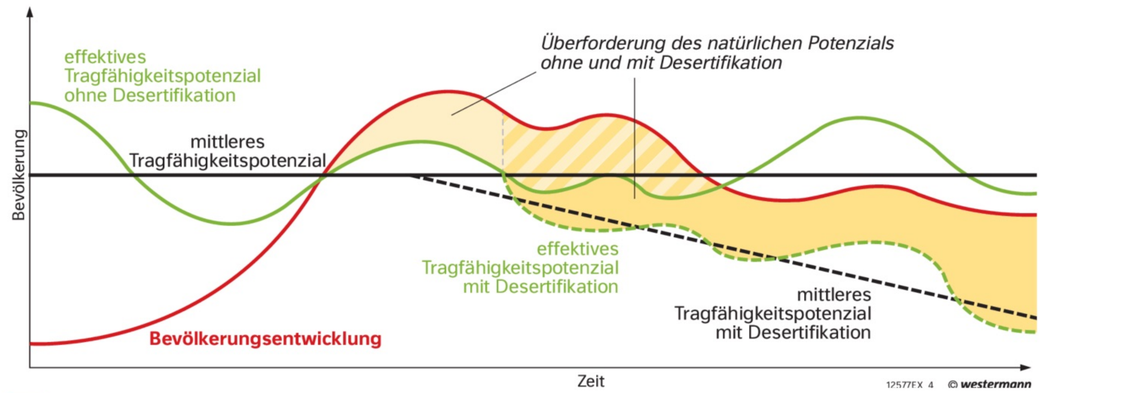
AUFGABEN

1. Erklären Sie die Dürreanfälligkeit der Sahelzone (M1 – M3; ▸ S. 22/23). Nutzen Sie auch ihre Ergebnisse zu den betroffenen Ökozonen (▸ S. 68 – 73).
2. Erläutern Sie Ursachen und Folgen der Desertifikation in der Sahelzone (M1 – M5).
3. Recherchieren Sie zum Phänomen der Bodendegradation. Erläutern Sie deren Rolle bei der Desertifikation (▸ S. 228).
4. Entwickeln Sie Ansatzpunkte, die Entwicklung umzukehren bzw. eine nachhaltige Entwicklung anzustoßen. Diskutieren Sie Maßnahmen gegen das Sahel-Syndrom (M6, ▸ S. 232/233).

M4 Desertifikation in der Sahelzone



M5 Conceptmap zur Desertifikation in der Sahelzone



M6 Mögliche Entwicklung der Tragfähigkeit in der Sahelzone

Die aus Westafrika stammende Zaï-Methode beschreibt ein traditionelles Verfahren der Landsanierung. Dabei werden Erdlöcher (Zaï) ausgehoben (Tiefe ca. 20 cm, Durchmesser ca. 25 cm) und mit Kompost, Viehdung, Ernteabfällen sowie Erde befüllt. Durch den Dung werden Termiten angelockt, die den Boden durchgraben und lockern. Dieser kann somit mehr Wasser speichern und den Pflanzen Nährstoffe zur Verfügung stellen. Sobald es regnet, werden die Zaï zum Beispiel mit Hirse bepflanzt. In den Löchern sammelt sich das Regenwasser und die Mineralstoffe aus dem Dünger gelangen direkt zur Pflanze. Auf diese Weise können mit nur geringem Material- und Geldeinsatz auch auf verkrusteten, unfruchtbaren Flächen die Fruchtbarkeit und Erträge teils erheblich gesteigert werden. Wiederbelebt wurde diese Technik durch Yacouba Sawadogo aus Burkina Faso, der dafür 2018 den alternativen Nobelpreis erhalten hat (offiziell: *Right Livelihood Award*). Sawadogo sät auch Baumsamen aus, die neben der Hirse keimen und wachsen. Die Bäume spenden der Hirse nach einigen Jahren Schatten. Ihre Blätter können als Mulch und Viehfutter genutzt werden. Baumwurzeln schützen vor Bodenerosion. Der Boden kann mehr Wasser halten und der Grundwasserspiegel steigt an. Fast hundert verschiedene Baumarten sowie Gräser und Sträucher hat Sawagodo seit den 1970er-Jahren gepflanzt. Yacouba Sawadogo hat es ohne Hilfe von außen geschafft, die Erträge seiner Landwirtschaft langfristig zu erhöhen. Dafür brauchte er keine teuren Maschinen. Für andere Bauern ist es so relativ einfach, die Zaï-Technik zu übernehmen. So hat sich das Wissen um diese Technik in Burkina Faso und darüber hinaus verbreitet.

M1 Lokale Maßnahmen: Zaï-Methode zur Landsanierung und Baumpflanzungen

Lokale und transnationale Maßnahmen gegen Desertifikation

Desertifikation und damit der Verlust fruchtbarer Böden ist eine der großen Herausforderungen, nicht nur auf dem afrikanischen Kontinent. Schon seit Jahrzehnten werden Projekte gestartet. Welche Ziele stecken dahinter und wie groß sind die Erfolgsaussichten?

Der Erhalt fruchtbarer Böden ist besonders angesichts stark wachsender Bevölkerung für die Ernährungssicherung eine Herausforderung. Um erfolgreich zu sein, müssen zum einen lokale Gegebenheiten beachtet werden. Dazu zählen nicht nur die unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten oder Klimaverhältnisse. Auch Traditionen spielen zum Beispiel eine wichtige Rolle. Zum anderen muss auch von politischer Seite der Wille vorhanden sein, über die Interessen des eigenen Landes hinaus zu handeln. Besonders angesichts des rezenten Klimawandels drängt hier die Zeit.

AUFGABEN

1. Um erfolgreich Maßnahmen gegen die Desertifikation durchführen zu können, ist es sinnvoll, bei den Ursachen zu beginnen. Analysieren Sie mögliche Ansatzpunkte (▸S. 81: M5) und begründen Sie Ihre Überlegungen.
2. Analysieren Sie die vorgestellten Strategien zur Bekämpfung (M1 – M4) und erläutern Sie, wo diese ansetzen. Vergleichen Sie die Vorgehensweisen und recherchieren Sie zu den Erfolgen (▸S. 228).
3. Diskutieren Sie die Wirksamkeit der Strategien (Aufgabe 2, M1 – M4).
4. „Maßnahmen gegen die Desertifikation sind ein lokales und globales Anliegen und müssen auf beiden Ebenen verfolgt werden." Erläutern Sie die These und nehmen Sie Stellung dazu.

Im Juli 2017 wurde die Sahel-Allianz ins Leben gerufen, eine internationale Kooperation, zu der auch Deutschland gehört, mit dem Ziel, die Lebensbedingungen im Sahel zu verbessern. Im Jahr 2020 betreute und finanzierte die Sahel-Allianz bereits 730 Projekte. Ein Beispiel aus dem Bereich der Landwirtschaft ist ein Tröpfchenbewässerungsprojekt in Burkina Faso. Insgesamt soll bei den landwirtschaftlichen Projekten vor allem auf ein Vorantreiben der ökologischen Landwirtschaft geachtet werden. Zahlreiche Kritiker bezweifeln, dass auf diesem Weg das Problem der Unterernährung beseitigt werden kann.

M2 Neue Wege in der Landwirtschaft der Sahelzone?

Inspiriert von dem 1978 gestarteten Grüne-Mauer-Projekt nördlich von China beschloss die Afrikanische Union 2005, ein riesiges Aufforstungsprogramm in der Sahelzone ins Leben zu rufen (*Great Green Wall of the Sahara and the Sahel Initiative* (kurz: GGWSSI). Seit 2007 werden hier Bäume gepflanzt, wobei im Gegensatz zum chinesischen Pendant von Beginn an auf Mischkulturen geachtet wird. Ziel des Aufforstungsprogramms ist es, der Bodendegradation, der Dürre und damit auch der Desertifikation entgegenzuwirken.
Bis 2030 soll ein 15 Kilometer breiter, sich von Senegal am Atlantik bis nach Eritrea und Dschibuti erstreckender grüner Schutzwall vor der Wüste entstehen. Nach Einschätzung von Gutachtern der Vereinten Nationen wurden bis 2020 zwischen 4 und 20 Prozent des Aufforstungszieles erreicht.
Für die Fortschritte des Projektes ist die Mitarbeit der lokalen Bewohner unerlässlich, weshalb das Programm mit seinen Teilen immer wieder an die Gegebenheiten angepasst werden muss. Auch sind die Erfolge in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich: die Unterstützung der Regierung ist für den Erfolg notwendig, bewaffnete Konflikte dagegen verhindern den Fortschritt. Man geht davon aus, dass der Erfolg des Projektes erst langfristig – in etwa 30 Jahren – absehbar ist.

M3 Transnationale Maßnahme – das *Great-Green-Wall*-Projekt

Der australische Agrarwissenschaftler Tony Rinaudo entwickelte seine Methode des FMNR (*Farmer Managed Natural Regeneration*) in den 1980er-Jahren nach einer zufälligen Entdeckung. Bei einer Rast auf einer Reise in der Wüste im Niger sah er, dass kleine grüne Blätter aus dem Wüstenboden wuchsen. Als er diese ausgraben wollte, entdeckte er ein riesiges Wurzelwerk ehemaliger Bäume, die dort der Desertifikation oder der Rodung zum Opfer gefallen waren. Er sah die Möglichkeit, noch vorhandene unterirdische Wurzeln zu nutzen, die Schösslinge dieser Wurzeln zu schützen und ganz gezielt zu neuen Bäumen heranwachsen zu lassen.

Ausgangslage: Durch Übernutzung zerstörte landwirtschaftliche Fläche. Der Baumbestand wurde größtenteils gerodet.
1. Schritt – Baumbewuchs zulassen: Bauern lassen Baumstümpfe und kleinere Pflanzen auf ihren Feldern wachsen.
2. Schritt – Auswahl: Nach einer gewissen Zeit wählen sie die Baumarten aus, die am besten auf ihren Feldern wachsen. Hiervon wählen sie dann mehrere Stämme aus, die am höchsten und geradlinigsten gewachsen sind. Diese werden mit Farbbändern gekennzeichnet.
3. Schritt – Beschnitt: Ungewünschte Stämme, Stängel und Seitenzweige werden entfernt. Es bleiben nur die farblich markierten Stämme auf den Feldern.
4. Schritt – Pflege und Schutz: Der Bestand muss vor Feuer und Vieh geschützt werden. Unkraut, neu wachsende Seitenzweige oder Bäume werden regelmäßig entfernt.

In über zwanzig Ländern ist die Methode inzwischen erfolgreich, Millionen Kleinbauern haben sie seit den 1980er-Jahren angewandt. Da die Kosten und auch das Risiko für die lokale Bevölkerung gering sind, findet sie durch Mundpropaganda schnell Verbreitung. Alle haben die Erkenntnis gewonnen, dass Bäume langfristig wertvoller sind, als sie zum Beispiel als Feuerholz zu verwenden. Die Vorteile überwiegen, wie Forscherinnen und Forscher herausgefunden haben:

- immer noch ausreichende Menge an Feuerholz,
- Futter für den Viehbestand,
- Nahrungsmittelsicherheit durch Ernten auch in Dürrejahren,
- erhöhter pflanzlicher Ertrag durch Bodenverbesserung,
- Stärkung der lokalen Ökonomie bzw. des lokalen Handels,
- Stärkung der Rolle und des Wohlstands von Kindern und Frauen,
- Grundwasseranreicherung und Wasserfiltration,
- Wiederaufforstung,
- Steigerung der Biodiversität,
- Steigerung der Lebensqualität, u. a. durch Senkung der Windgeschwindigkeit und der vorherrschenden Temperaturen.

Tony Rinaudo erhielt 2018, zusammen mit Yacouba Sawadogo (M1) den alternativen Nobelpreis.

M4 FMNR-Methode

M1 Der *Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD)* nach Beendigung der ersten Ausbaustufe 2020

	1960	2019	2025*
Wassermenge (km^3/Person/Jahr)	2190	570	500

* Prognose; Hinweis: Relative Wasserknappheit: unter 1000 km^3/Person/Jahr, absolute Wasserknappheit: 500 km^3/Person/Jahr; Quelle: Stiftung Wirtschaft und Politik 2020)

M2 Verfügbare Wassermenge in Ägypten (▸ S. 130: M1)

„[...] Doch noch hat sich Äthiopien nicht offiziell mit den Ländern flussabwärts – Sudan und Ägypten – über die Wassernutzung geeinigt. Diese Staaten befürchten, dass bei ihnen in Zukunft weniger Wasser ankommt und sie gerade in Dürrezeiten von Äthiopien abhängig und erpressbar werden. [...] Äthiopien wollte den Stausee ursprünglich bis 2025 mit Nilwasser auffüllen. Das würde bedeuten, dass Ägypten in den kommenden Jahren mit 22 Prozent weniger Wasser und einem Verlust von 18 Prozent seiner Ackerflächen rechnen müsste. Dazu käme ein sinkender Grundwasserspiegel und die zunehmende Versalzung des Nildeltas durch eindringendes Meerwasser. Mehr als zwei Millionen ägyptische Bauern könnten darunter leiden. Ägypten will deshalb erreichen, dass die Auffüllphase über einen möglichst langen Zeitraum gestreckt wird.
Für manche Gebiete flussabwärts birgt der Damm aber auch Vorteile. Die Menschen im Sudan werden durch den Damm von einer konstanten Wasserversorgung profitieren, die besonders die angrenzende Region vor extremen Überschwemmungen schützt. Dazu kommt in Zukunft der günstige Strom. Außerdem hält der Damm Sedimente auf, wodurch sich die bestehenden Kraftwerke im Sudan und auch in Ägypten weniger abnutzen. [...] Doch die Angst ist und bleibt groß, dass Äthiopien – zumindest theoretisch – Sudan und Ägypten das Wasser abdrehen könnte. [...] Noch vor wenigen Wochen äußerte der ägyptische Präsident, dass er alle Mittel in Betracht ziehe, um die Wassersicherheit Ägyptens zu sichern. Andere Politiker des Landes riefen dezidiert dazu auf, das Militär einzusetzen."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M3 Bericht zum Wasserkonflikt (2020)

AUFGABEN

1. Kriege um Wasser? Notieren Sie eine begründete Einschätzung, ob Sie dies für möglich halten.
E↑ 2. Gestalten Sie ein Blockbild zu einem Fremdlingsfluss (Atlas, ▸ S. 230).
3. Äthiopien baut einen Staudamm am Nil, Ägypten droht sogar mit Krieg. Erläutern Sie die Bedeutung des Nils für die Länder Ägypten, Sudan und Äthiopien und deren unterschiedliche Interessen an der Nutzung des Wassers (M2 – M4, Atlas).
4. Fassen Sie die Problematik zusammen, eine international anerkannte Lösung bei grenzüberschreitenden Wasserkonflikten zu finden (M5).
5. Erörtern Sie Lösungsmöglichkeiten des Konfliktes zwischen den beteiligten Staaten (M1 – M5).
6. Ein weiterer Konflikt in den Tropen droht im Südchinesischen Meer. Gestalten Sie zum Konflikt um die Spratly-Inseln einen Podcast und erörtern Sie die konkurrierenden geostrategischen Interessen (Recherche).

E↑ Geopolitische Konfliktpotenziale – Beispiel Wasserkonflikt zwischen Ägypten und Äthiopien

Für das Leben und Wirtschaften ist Wasser existenziell. Dies gilt besonders für Staaten, die vom Wasserzufluss aus anderen Staaten abhängig sind. Welche Konflikte drohen, wenn ein Land einem anderen droht, den „Wasserhahn abzudrehen", um die eigene Bevölkerung zu versorgen und die eigene Wirtschaft zu fördern?

Der Streit um das Nilwasser zwischen Ägypten und Sudan auf der einen Seite und Äthiopien auf der anderen Seite ist nicht neu. Doch seit Äthiopien den *Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD)* (M1) baut, ist das Konfliktpotenzial stark gestiegen. Äthiopien will damit die Energieversorgung seines Landes verbessern, denn noch immer haben über 60 Prozent der Bevölkerung keinen Zugang zur Stromversorgung. Außerdem plant das Land, Strom in Nachbarländer zu verkaufen, zum Beispiel nach Uganda, Kenia oder Dschibuti. Ägypten dagegen ist zu 90 Prozent vom Wasser des

M4 Einzugsgebiete des Nil

Fremdlingsflusses Nil abhängig, 80 Prozent davon werden für die Landwirtschaft genutzt. Angesichts wachsender Bevölkerung und des rezenten Klimawandels wird sich diese Abhängigkeit vergrößern (M2).
Die Unterlieger (M3, M4) befürchten eine Wasserknappheit. Besonders Ägypten schlägt scharfe Töne an und droht in diesem Fall sogar mit militärischem Eingreifen. Eine international anerkannte Lösung gibt es nicht (M5).

Im internationalen Recht gibt es keine verbindlichen Rechtssetzungen, die Regeln für die Nutzung grenzüberschreitender Fließgewässer enthalten. Anstrengungen, dieses Vakuum auszufüllen, wurden mehrfach gemacht, blieben aber bisher erfolglos. Allerdings gibt es einige gewohnheitsrechtlich anerkannte Regeln im Wasserbereich. Deren Akzeptanz wurde und wird aber dadurch erschwert, dass Staaten unterschiedliche und bisweilen sogar konkurrierende Prinzipien für den Umgang mit Verteilungskonflikten vertreten. Zwei dieser Positionen sind von besonderer Bedeutung, da sie die Grundströmungen des heutigen übernationalen Wasserrechts widerspiegeln:

- Im Sinne des Prinzips der absoluten territorialen Souveränität eines Staates sind die Wasserressourcen innerhalb seines Territoriums sein exklusives Eigentum. Demnach hat jeder Staat das uneingeschränkte Recht, diese nach seinem Gutdünken zu nutzen. Diese Position privilegiert die Oberlieger, das heißt diejenigen Staaten, auf deren Territorium die Quellen der Flüsse liegen.
- Der Schutz der Unterlieger dazu steht beim Prinzip der absoluten territorialen Integrität im Vordergrund. Bei dieser Sicht wird stromabwärts liegenden Ländern das Recht auf eine beständige und nicht künstlich verminderte Wasserführung auch derjenigen Flüsse zugestanden, deren Quellen in einem anderen Land liegen.

1966 verabschiedeten die UN die „*Helsinki Rules on the Uses of the Water of International Rivers*", die Völkergewohnheitsrecht begründeten. Die Helsinki-Regeln haben den Gedanken des „internationalen Flusseinzugsgebiets" begründet, das Grund- und Oberflächenwasser innerhalb eines Wassereinzugsgebiets berücksichtigt. Im Einzelnen wurden folgende Grundsätze aufgestellt:

- Anerkennung der Interessen und Rechte anderer Anlieger und damit Aufgabe einer Position der absoluten Souveränität,
- Verpflichtung zur Entschädigung bei Beeinträchtigung der Interessen anderer Staaten,
- Kosten-Nutzen-Analyse in der Planung und Fortschreibung eines Projekts mit dem Ziel nachhaltiger Nutzung,
- Informationspflicht für die Anlieger und offener Datenaustausch,
- Regelung von Einwänden durch Konsultationsausschüsse und Schiedskommissionen.

Eindeutig wurden die Kriterien und Prioritäten für unterschiedliche Nutzungen allerdings nicht festgelegt. Die unterschiedlichen Standpunkte haben bisher konkrete Rechtssetzungen verhindert.

Wegen der fehlenden Rechtssetzungen muss ein Interessenausgleich zwischen Ober- und Unterliegern daher im Einzelfall in Verhandlungen auf bi- oder multilateraler Ebene erreicht werden. Bei derartigen Verhandlungen hat sich heute die Praxis herauskristallisiert, Oberliegern das Recht auf eine angemessene und vernünftige Wassernutzung („*equitable and reasonable utilization*") zuzugestehen. Diese müssen darauf achten, Unterliegern möglichst geringe Nachteile entstehen zu lassen. Beide Seiten sind auch zum gegenseitigen Informationsaustausch verpflichtet.

M5 Internationales Wasserrecht

M1 Verkauf europäischer Textilien in Nairobi (Kenia)

M2 Baumwollernte in Burkina Faso und in Georgia (USA)

Textilkauf mit Folgen?

Viele der Produkte, die wir täglich konsumieren und nutzen, kommen aus den Tropen: Nahrungsmittel wie Bananen oder Avocados, Rohstoffe wie Coltan oder Gold in unseren Smartphones oder auch die Baumwolle in unseren Jeans oder T-Shirts. Doch welche Folgen hat der Baumwollanbau in den Tropen für die Menschen vor Ort, die Umwelt oder die Wirtschaft des Herkunftslandes?

Die Baumwollpflanze stammt ursprünglich aus den Immerfeuchten Tropen Asiens, Afrikas und Südamerikas, wird heute aber auch in trockeneren Gebieten angebaut. Denn zu viel Regen lässt die Baumwollknospen verfaulen und mindert so die Ernte. In den Trockengebieten jedoch ist der Anbau nur mit umfangreicher Bewässerung möglich. Auch im weiteren Produktionsprozess wird viel Wasser benötigt, beispielsweise beim Waschen der Baumwolle oder beim Färben. Auch wenn es im Produkt selbst nicht sichtbar ist, ist die Menge dieses virtuellen Wassers enorm (▸S. 134/135). Für ein T-Shirt fallen circa 2500 Liter an.

Im Jahr 2021/22 wurden 26 Millionen Tonnen Baumwolle geerntet, am meisten in China, Indien, den USA, Pakistan und Brasilien. Aber auch in Burkina Faso oder Mali gibt es größere Anbaugebiete. Die Produktion der Textilien findet global statt, meist in Staaten mit geringen Durchschnittslöhnen (M4). Oft liegen auch diese in den Tropen.

Die Produktion von Textilien und damit der Umsatz ist in den letzten Jahren besonders durch die sogenannte *Fast Fashion* gestiegen: Statt zwei Kollektionen im Jahr bieten Modelabels oft monatlich neue Produkte an. So nimmt auch die Menge an Altkleidern zu. In kommerziellen Altkleidercontainern bei uns gesammelt, werden sie in großem Umfang wieder in tropische Länder verschifft. Dort werden sie entweder auf Märkten so günstig verkauft, dass die heimische Konkurrenz chancenlos ist (M1), oder sie landen auf Müllhalden.

AUFGABEN

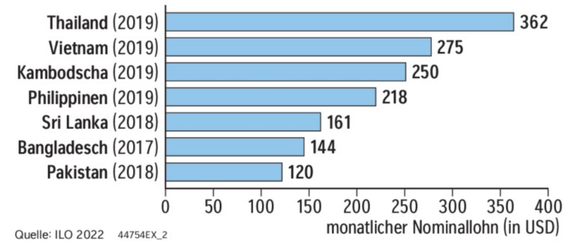
1. Beschreiben Sie das Bild (M1).
2. Vergleichen Sie die Anbaumethoden (M2, Text).
3. Die Nachfrage nach Produkten aus Baumwolle hat nicht nur Auswirkungen auf die Anbaugebiete.
   a) Stellen Sie die Arbeitsschritte von der Baumwollernte bis zum fertigen Kleidungsstück dar (M7).
   b) Analysieren Sie soziale, ökonomische und ökologische Auswirkungen (M2 – M6, Recherche).
4. *Fast Fashion*: Sind wir für die weitere Verwendung unserer Altkleider verantwortlich? Diskutieren Sie diese Frage.

E↑ 5. Erläutern Sie das Konzept des ökologischen Fußabdrucks und berechnen Sie Ihren eigenen ökologischen Fußabdruck (M8, Internet).

E↑ 6. Mit dem *Earth Overshoot Day* wird jährlich die Überschreitung der ökologischen Tragfähigkeit angegeben (M9). Entwickeln Sie Vorschläge, wie ein ressourcenschonenderes Leben möglich wäre.

- Baumwolle wird oft von Schädlingen befallen. Dem wird mit großen Mengen an Pestiziden begegnet.
- Baumwolle benötigt große Mengen an Wasser. Durch den Anbau in Trockengebieten verdunstet dabei viel Wasser.
- Über 90 Prozent der Baumwollbäuerinnen und -bauern leben in Ländern des Globalen Südens und produzieren drei Viertel der weltweiten Baumwollernte. Das Einkommen ist gering und reicht gerade zum Überleben, der Pestizideinsatz gefährdet ihre Gesundheit.
- Millionen Kinder arbeiten weltweit in der Landwirtschaft, auch beim Anbau und der Ernte von Baumwolle.

M3 Baumwollanbau – ökologische und soziale Folgen



M4 Durchschnittslöhne in der Bekleidungsindustrie

M5 Aufteilung der Kosten für ein *Fast-Fashion*-T-Shirt

„Die Textilindustrie [ist], zentral für die Stärkung der Rolle der Frau, unabhängig Geld zu verdienen. Das hat den Status der Frau in der insgesamt sehr patriarchalen Gesellschaft und Familie erheblich verbessert. Ein westlicher Boykott wäre eine soziale Katastrophe.“

„Die Arbeitskräfte in den etwa 5000 Textilfabriken – zu 90 Prozent Frauen – sind weitgehend rechtlos, müssen unbezahlte Überstunden leisten, manche bekommen ihren – ohnedies sehr niedrigen – Lohn unregelmäßig, sind Schikanen ihrer Vorarbeiter ausgeliefert.“

„Im Grunde ist Bangladeschs Textilindustrie eine Erfolgsstory. Die Arbeitsplätze sind begehrt. Arbeit in einer Textilfabrik kann ein Weg aus größter Armut sein. Die Alternative ist Arbeit auf dem Feld, als Tagelöhner oder Rikschafahrer – für die Hälfte des Lohns.“

„Es ist zu einfach, mehr Arbeitsschutz und höhere Löhne in der Textilindustrie von Dritte-Welt-Ländern wie Bangladesch zu fordern. Damit verlören viele Menschen ihre einzige Erwerbsquelle.“

„Ich habe kein Problem mit dem Mindestarbeitsalter von 18 Jahren. Doch das zwingt viele Kinder zum Betteln. Sie ziehen Rikschas, werden kriminell oder schon mit 14 verheiratet. Wir haben in Bangladesch keine Verhältnisse wie im Westen, wo sich der Staat um alles kümmert.“

„In Bangladesch sind nicht alle Menschen arm. In den Städten gibt es immer höhere Gebäude, zunehmend mehr Autos, Fernsehgeräte und Handys. Selbstverständlich gibt es viele hochgebildete Menschen [...]. Der Zugang zu Grundbildung wurde verbessert, die Kindersterblichkeit signifikant reduziert und demokratische Institutionen gestärkt. [...] Teile der Wirtschaft schaffen den Anschluss an die globalen Märkte. Die Wirtschaft wächst konstant jährlich um 5 – 6 %. [...] Mehr und mehr Menschen gelingt es, sich unter größten Anstrengungen aus der Armut herauszuarbeiten.“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M6 Aussagen zur Textilindustrie in Bangladesch

M7 Weg einer Jeans von der Baumwollernte bis zum Verkauf

Der **ökologische Fußabdruck** (*Ecological Footprint*) wurde Mitte der 1990er-Jahre von Mathis Wackernagel und William Rees entwickelt und ist die biologisch produktive Fläche, die ein Mensch mit seinem Lebensstandard bzw. Lebensstil dauerhaft in Anspruch nimmt. Das schließt sowohl Flächen für die Produktion als auch für die Entsorgung bzw. die Bindung des freigesetzten Kohlenstoffdioxids ein. Die Werte werden in globalen Hektar (gha) angegeben bzw. in Erden umgerechnet: Das Konsumverhalten der Weltbevölkerung benötigt zurzeit etwa 1,7 Erden. Dabei leben besonders die westeuropäischen Länder auf zu großem Fuß (z. B. 2022: USA 5,1 Erden, Deutschland 3,0 Erden). Die Berechnungen des ökologischen Fußabdrucks ergeben zwar nur grobe Näherungswerte, weisen jedoch auf Überlastung der Ökosysteme hin. Es gibt zahlreiche Internetseiten, mit denen der eigene ökologische Fußabdruck berechnet werden kann.

E↑ **M8** Der ökologische Fußabdruck

Anhand des ökologischen Fußabdrucks lässt sich der sogenannte *Earth Overshoot Day*, der Erdüberlastungstag, berechnen. Es ist der Tag, an dem die Menschheit alle natürlichen Ressourcen, welche die Erde innerhalb eines Jahres zur Verfügung stellen kann, mit ihrem Handeln aufgebraucht hat (z. B. 2023 am 2. August). Deutschland hat seine Jahresressourcen 2023 bereits am 4. Mai aufgebraucht, die USA schon am 13. März und Katar sogar ca. sechs Wochen nach Jahresbeginn – am 10. Februar.

E↑ **M9** *Earth Overshoot Day*

Wirtschaftliche Nutzung statt Regenwald – Auswirkungen des Ölpalmanbaus

AUFGABEN

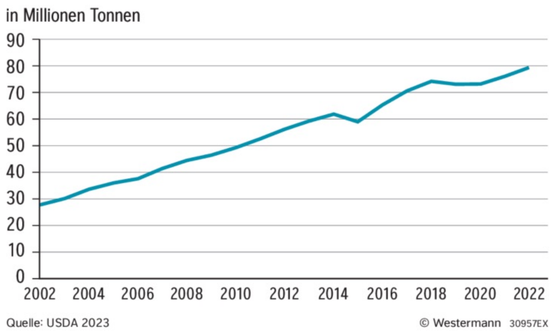
Arbeitszeit: 60 Minuten

1 Der Anbau von Palmöl boomt, da die Produkte der Ölpalme vielfältig eingesetzt werden können.
a) Stellen sie anhand der Materialien M1 – M5 die Entwicklung der Produktion von Palmöl dar und erläutern Sie daraus resultierende Vor- und Nachteile für die Länder, die das Produkt exportieren.
b) Erörtern Sie mithilfe von M6 und M8, ob es nachhaltige Alternativen zum Palmöl gibt und überlegen Sie, welche politischen und sozialen Rahmenbedingungen für eine andere Anbauart notwendig wären.

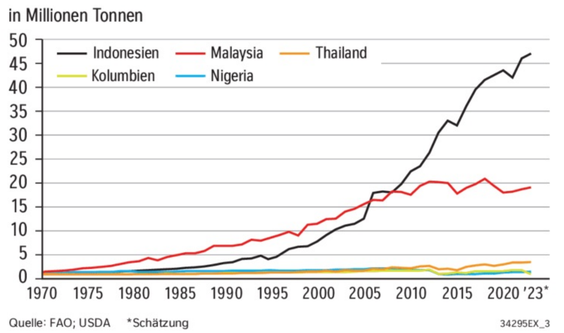
2 Für den tropischen Regenwald in Brasilien warnen Forscherinnen und Forscher, dass bei weiteren Rodungen ein Kipppunkt erreicht wird und die Degradation der Vegetation fortschreitet. Beschreiben Sie die lokalen Auswirkungen der Rodungen aus dem Zusammenspiel der Naturfaktoren und erläutern Sie die globalen Folgen, die durch die fortschreitenden Rodungen eintreten.

3 In von Desertifikation bedrohten Regionen werden Bäume und Sträucher gepflanzt, um die Ausbreitung der Wüste zu stoppen. Diskutieren Sie diese Maßnahme, um das Erreichen des Kipppunkts zu verhindern.

4 Nachhaltiges Handeln beginnt bei uns selbst. Bewerten Sie einen der Tipps zum Schutz des Regenwaldes (M7).



M1 Produktion von Palmöl weltweit

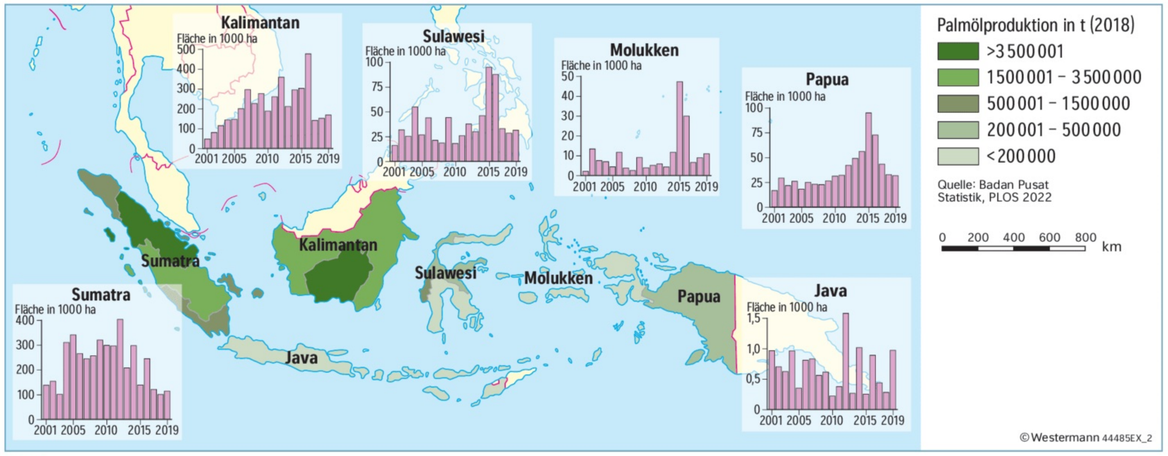


M3 Die fünf größten Palmölproduzenten (1970 – 2023)

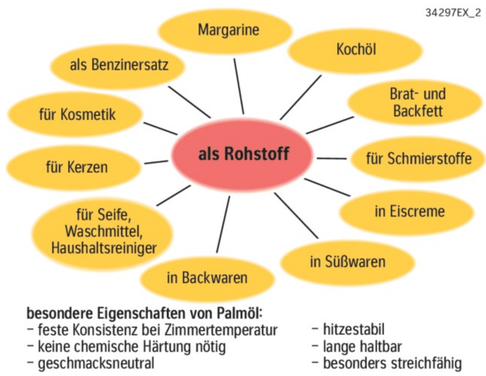
Palmöl wird, im Gegensatz zum Palmkernöl, aus der Frucht der Ölpalme gewonnen. Ideale Anbaubedingungen finden sich in den Tropen, mit wenigen Ausnahmen (z. B. VR China) kommt das Palmöl von dort, vorwiegend aus Südostasien. Unter den pflanzlichen Ölen ist es besonders beliebt. Das liegt u.a. im hohen Hektarertrag, den relativ niedrigen Kosten sowie der ganzjährigen Verfügbarkeit des Produkts.

M2 Ölpalme und Palmölfrucht (Darstellung der Abbildungen nicht maßstabsgetreu)

M4 Palmen statt Regenwald auf der Insel Sulawesi (Indonesien)



M5 Flächenexpansion für Palmölproduktion in Indonesien



M6 Verwendungsmöglichkeiten von Palmöl

397 781 ha Anbaufläche [...] Diese Fläche könnte frei werden, wenn in Deutschland Palmöl durch andere pflanzliche Öle ersetzt würde. Aber das ist nur eine Seite der Medaille. Die anderen Pflanzenöle benötigen ebenfalls Fläche und [...] weit mehr als die Ölpalme. Würde man [...] Palmöl durch einen Mix aus Raps-, Sonnenblumen-, Kokos- und Sojaöl ersetzen, so würde [...] das 5-fache an Fläche [benötigt werden]: 1,85 Mio. ha statt 397 781 ha.

Quelle: siehe Verzeichnis S. 254/255

Ölerträge (in Tonnen pro Hektar)

Kokos	0,52
Soja	0,77
Sonnenblume	0,86
Raps	1,33
Ölpalme	3,69

Quelle: FAO
© Westermann 50275EX_1

M8 Sinnvoller Palmölersatz?

- Nutzen Sie Ihr Smartphone so lange wie möglich, denn es enthält wertvolle Rohstoffe. Viele davon kommen aus Regenwaldländern. Wenn Ihr Smartphone kaputt ist, lassen Sie es reparieren. Oder bringen Sie es zum Recycling.
- Sparen Sie Papier:
  – Für neues Papier werden Bäume gerodet, auch aus Monokulturen im Regenwald. Jede gesparte Seite Papier hilft. Papier kann auch beidseitig bedruckt werden.
  – Benutzen Sie Recycling-Toilettenpapier, denn Toilettenpapier kann nicht wieder recycelt werden. So werden Wälder geschützt und bei der Herstellung werden Wasser und Chemikalien eingespart.
  – Bestellen Sie nur selten im Internet. Dadurch sparen Sie große Menge an Verpackungen. Diese haben inzwischen den größten Anteil am Papierverbrauch.
- Kaufen Sie keine Gartenmöbel aus Tropenholz (z. B. Teak), auch nicht aus Plantagen. Es gibt zahlreiche gleichwertige Alternativen aus heimischen Hölzern.
- Essen Sie möglichst wenig oder gar kein Fleisch, denn Hühner, Schweine, Rinder und Milchkühe werden oft mit Soja-Kraftfutter gemästet. Dieses Soja kommt vor allem aus Brasilien. Dort werden für die Anbauflächen Regenwälder und Savannen zerstört, ebenso für riesige Weiden für Rinder, die in Brasilien grasen. Und kaufen Sie Fleisch, Eier, Milch und Käse regional und aus ökologischer Haltung. Bio-Landwirtinnen und -Landwirte verwenden nur Futtermittel aus der Umgebung.
- Tanken Sie keinen Biosprit, denn im Biosprit steckt Treibstoff aus Pflanzen, auch aus Ölpalmen (das Palmöl) und Sojabohnen. Für deren Anbau werden große Flächen im Regenwald gerodet. Die einheimische Bevölkerung wird von ihren Äckern vertrieben oder hungert. Denn auf den Äckern werden immer mehr Pflanzen für Biosprit angebaut anstatt für die Nahrung.

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M7 Tipps zum Schutz des Regenwaldes

Arktis: Das Dorf Reine auf den Lofoten (Norwegen)

Antarktis: Tourismus bei der Kaiserpinguinkolonie der Isla Cerro Nevado im Weddellmeer

3

Subpolare und Polare Zone

Klimaforschung und Geopolitik

In diesem Kapitel erfahren Sie, ...

... welche naturgeographischen Besonderheiten diese Zonen aufweisen (▶ S. 92 – 95).

... welche Bedeutung diese Zonen für das globale Klimasystem und für die Klimaforschung haben (▶ S. 100 – 103, 106 – 107).

... welche Chancen und Probleme sich aus der menschlichen Einflussnahme auf diese Zonen ergeben (▶ S. 96 – 99, 104 – 105, 112 – 113).

... wieso Ländergrenzen in diesen Teilen der Erde zum Teil (noch) nicht bestehen oder umstritten sind (▶ S. 110 – 111).

... welche Schutzmöglichkeiten bestehen (▶ S. 108 – 109).

Die Subpolare und und die Polare Zone umfassen die Erdregionen um Nord- und Südpol. Das Gebiet ist durch Extreme geprägt: Windgeschwindigkeiten bis 300 km/h, Kälte mit Temperaturen bis – 89,2 °C (Forschungsstation Wostok, Antarktis), Polartag und Polarnacht. Trotzdem erforscht der Mensch diese Regionen und er nutzt sie teilweise wirtschaftlich. Auf diese Nutzung reagieren Tier- und Pflanzenwelt sehr empfindlich. Zusätzlich wirkt sich der rezente Klimawandel erheblich und mit globalen Folgen aus. So stellt sich die Frage nach der Zukunft dieser Zonen: Wird die wirtschaftliche Erschließung vorangetrieben oder der Schutz ausgebaut werden?

M1 Polarlichter über Island

M2 Eiswüste in Grönland (Dänemark)

Am Rand des Lebens: Klima und Vegetation in der Polaren und Subpolaren Zone

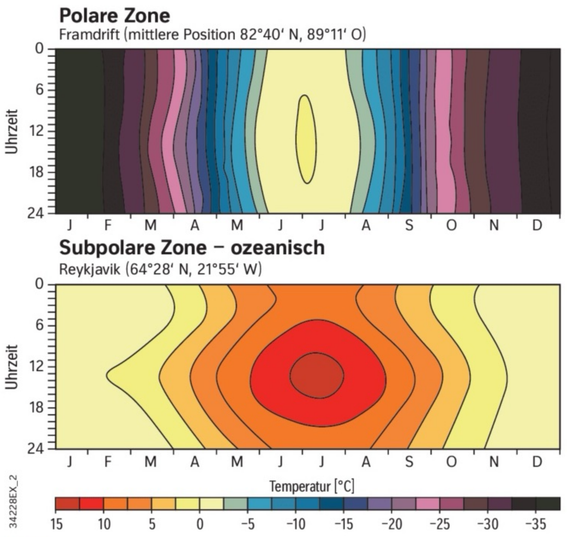
Etwa 90 Prozent der Arktis und die ganze Antarktis bieten eine vermeintlich unberührte Natur. Welche naturgeographischen Besonderheiten haben dazu geführt, dass die Polare und die Subpolare Zone vom Menschen weniger beeinflusst worden ist als alle anderen Gebiete der Erde?

Abgrenzung des Raumes

Die Grenzen der **Polaren** und der **Subpolaren Zone** sind nicht eindeutig definiert. Je nachdem, ob man klimatische Merkmale (absolute Werte oder Genese des Klimas), typische Vegetationsmerkmale oder Merkmalsbündel von Klima, Vegetation, Boden und deren Wechselwirkungen betrachtet, werden die Grenzen anders bestimmt. So werden zur ungefähren Abgrenzung zum Beispiel die Polarkreise bei 66,5° Nord/Süd oder die 10 °C-Juli-Isotherme oder für die nördliche Hemisphäre die Baumgrenze herangenommen. Zusätzlich wird von breiten Übergangsbereichen ausgegangen.

Klima – tiefe Temperaturen und wenig Niederschlag

Die tiefen Temperaturen der Polaren und der Subpolaren Zone haben drei Ursachen: Erstens führt die Neigung der Erdachse zur Ebene der Erdbahn um die Sonne zu dem Phänomen von Polartag und Polarnacht. Beide werden beginnend am Polarkreis zunehmend länger, bis sie am Pol jeweils ein halbes Jahr dauern. Zweitens ist der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung in der Polaren und der Subpolaren Zone wegen der Kugelgestalt der Erde sehr flach und drittens wird die einfallende Strahlung aufgrund der hohen Albedo von Eis und Schnee weitgehend reflektiert. Es existieren also eine zum Teil nur kurze Strahlungsdauer und eine geringe Strahlungsintensität, was im Jahresmittel zu einer negativen Strahlungsbilanz führt. Zwar erfolgt eine Wärmezufuhr durch die atmosphärische und die ozeanische globale Zirkulation, doch herrscht z. B. am Südpol immer noch eine Jahresdurchschnittstemperatur von – 49 °C und am Nordpol von – 18 °C. Die niedrigen Temperaturen bewirken dabei auch einen niedrigen Taupunkt der Luft (▸S. 77: M4), sodass kaum Feuchtigkeit aufgenommen und transportiert werden kann. Nur geringe Niederschläge sind die Folge, die sich an der Erdoberfläche in Form von Schnee und Eis aber lange halten können. So wurde in der Antarktis bei den Allan Hills das älteste Eis der Welt entdeckt: Eine durch Eisströmungen umgekippte Eisschicht wurde den sonst üblichen Auftauvorgängen am Grund des Antarktischen Eisschilds entzogen und konnte so die Zeiten überdauern. Das Eis ist 2,7 Millionen Jahre alt.



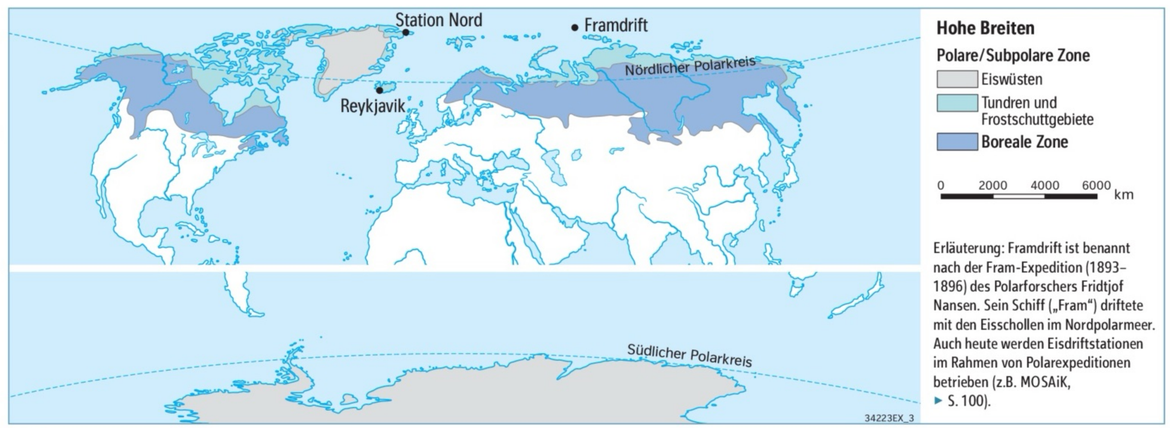
M3 Thermoisoplethendiagramme von Polarer und Subpolarer Zone

M4 Frostschuttzone im Transantarktischen Gebirge

M6 Tundra in Alaska (USA)

Vegetation – Leben am äußersten Rand des Möglichen

Die Polare Zone ist aufgrund des Wärmemangels vegetationsfrei. Diese polare Kältewüste umfasst die Eiswüste mit Inlandeis sowie die Frostschuttzone, die durch intensive Frostverwitterung (▸S. 94, 162) herausgebildet worden ist. Das Meer kann im Sommer stellenweise eisfrei sein. In der Subpolaren Zone beginnt die Vegetation der Tundra, zuerst vereinzelt mit Flechten und Moosen, dann – bei zunehmend besseren Lebensbedingungen in Richtung Äquator – mehr und mehr mit Gräsern, Sträuchern und vereinzelten niedrigen Bäumen. Hier ist ein fließender Übergang bis zum borealen Nadelwald (in Russland auch Taiga genannt, **Boreale Zone**), der von manchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit zur Subpolaren Zone gerechnet wird (▸ S. 118/119).
Erst im Bereich der Subpolaren Zone beginnt der Bereich der **Ökumene** mit dauerhaft angelegten menschlichen Siedlungen und Landwirtschaft in Gunstlagen; die Polare Zone gehört zur **Anökumene**.



M5 Verbreitung der Polaren, der Subpolaren sowie der angrenzenden Borealen Zone

AUFGABEN

1. Das faszinierende Schauspiel der Polarlichter findet meistens in der Nähe der magnetischen Pole statt. Recherchieren Sie die Entstehung von Polarlichtern und erklären Sie diese Verbindung (M1, ▸S. 228).
2. Beschreiben Sie die abgebildeten Landschaften und stellen Sie Vermutungen an zum Zusammenwirken der Geofaktoren (▸S. 10) (M2, M4, M6).
3. Zeigen Sie in den Thermoisoplethendiagrammen die klimatischen Auswirkungen von Polartag und Polarnacht auf (M3, ▸S. 224).
4. Recherchieren Sie die Klimadiagramme von Reykjavik und der Station Nord und zeigen Sie typische Merkmale der jeweiligen Klimazone auf (M5, Internet).
5. Erstellen Sie einen Tagebucheintrag einer fiktiven Polarexpedition, in dem Sie besonders auf die naturräumlichen Schwierigkeiten eingehen.

M1 Auftauender Permafrostboden in Spitzbergen

M2 Frostmusterboden auf Spitzbergen (Norwegen)

Gefroren seit über 12 000 Jahren – Welche Bedeutung hat der Permafrostboden?

Der Boden der Polaren und der Subpolaren Zone ist der älteste der Welt. Wie sieht solch ein jahrtausendealter Boden aus, wie entsteht er und wie verändert er sich? Und warum findet man in ihm momentan so viele Überreste von Mammuts?

Permafrost

Die Wärmearmut der Polaren und der Subpolaren Zone führt dazu, dass Gestein, Gesteinsschutt und Boden dauerhaft gefroren sind. Dieser **Permafrost** umfasst eine Tiefe von wenigen Metern bis zu 1600 Metern in Sibirien, wo während der letzten Eiszeit nur eine dünne Schneeschicht das Eindringen der tiefen Lufttemperaturen abmildern konnte. Je kälter die Temperaturen sind, desto kontinuierlicher ist der Permafrost verbreitet, je näher zur Zone des borealen Nadelwalds, desto inselartiger ist er. Da die Oberflächenschicht im Sommer bis zu einer Tiefe von 20 – 200 cm auftauen kann, wird Schmelzwasser frei, das wegen des weiterhin gefrorenen Untergrunds aber nicht nach unten abfließt. Die Folge ist, dass sich in Tiefländern Flüsse und zahlreiche flache Seen bilden.

AUFGABEN

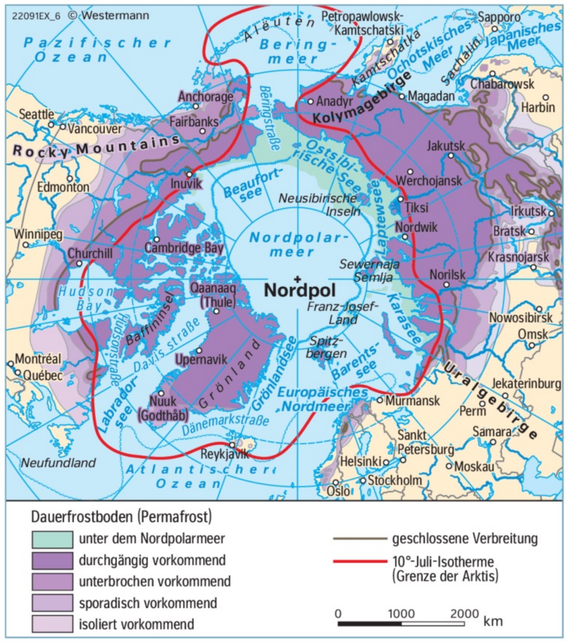
1. Erklären Sie das besondere Aussehen des Bodens auf Spitzbergen und das dortige Vorkommen sehr scharfkantiger Steine (M2).
2. Zeichnen Sie ein beschriftetes Profil eines Cryosols (M1) und eines Gleysols und zeigen Sie die Probleme der Bodenbildung auf (M4, ▸S. 218).
3. Erläutern Sie die klimatischen und naturräumlichen Bedingungen der Verbreitung des Permafrostbodens (M3).
4. Entwerfen Sie ein Szenario, das zeigt, welche Probleme der rezente Klimawandel für die menschliche Nutzung der Polaren und der Subpolaren Zone bringen wird (M1, M5).

Besondere physikalische Vorgänge im Permafrost

Frostsprengung von Gestein entsteht, wenn Wasser, das in kleinste Gesteinsrisse eingedrungen ist, gefriert und aufgrund der Volumenzunahme des Eises ein Druck bis über 20000 N/cm² ausgeübt wird. Die häufigen Frostwechsel fördern diese Art der physikalischen Verwitterung, bei der scharfkantige Gesteinstrümmer und Frostschutt gebildet werden. Gleichzeitig führt der permanente Frostwechsel zum Anheben von Steinen im Boden, da er unter ihnen länger gefroren bleibt als im Feinsubstrat in ihrer Nachbarschaft. Selbst bei kleinsten Erhebungen der Bodenoberfläche verschieben sich die an der Oberfläche angesammelten Steine konzentrisch von der Spitze der Erhebung abwärts, sodass ein **Frostmusterboden** mit Steinpolygonen entsteht (M2). Manchmal entsteht eine Polygonform auch durch das Aufreißen des Bodens im Winter: In den Rissen sammelt sich Eis, das im Sommer auftaut und im nächsten Winter wieder gefriert und oft weiter aufreißt. Bei Hängen verformen sich die Steinpolygone zu Steinstreifen. Hier gerät auch die gesamte Auftauschicht auf dem Permafrost in Bewegung, was **Solifluktion** genannt wird. Das nächste Gefrieren der Auftauschicht erfolgt dann sowohl von oben als auch von unten, wobei Unregelmäßigkeiten des Gefriervorgangs zur **Kryoturbation**, d. h. zur Durchmischung des Bodens, führen.

Bodenbildung

Aufgrund der tiefen Temperaturen findet in der Polaren Zone keine Bodenbildung statt. Erst in wärmeren Bereichen der Subpolaren Zone herrschen in der Auftauschicht des Permafrosts Bedingungen, die ein saisonales Pflanzenwachstum und damit Bodenbildung erlauben. Oft begrenzt aber der Permafrost die Wurzelbildung, sodass nur ein dünner Boden, der **Cryosol**, entstehen kann. Unter noch wärmeren Bedingungen entsteht der ebenfalls für die Subpolare Zone typische **Gleysol**, der nicht mehr vom Permafrost, sondern vom hohen Grundwasserstand geprägt ist.



M3 Reale Permafrostverbreitung im Nordpolargebiet

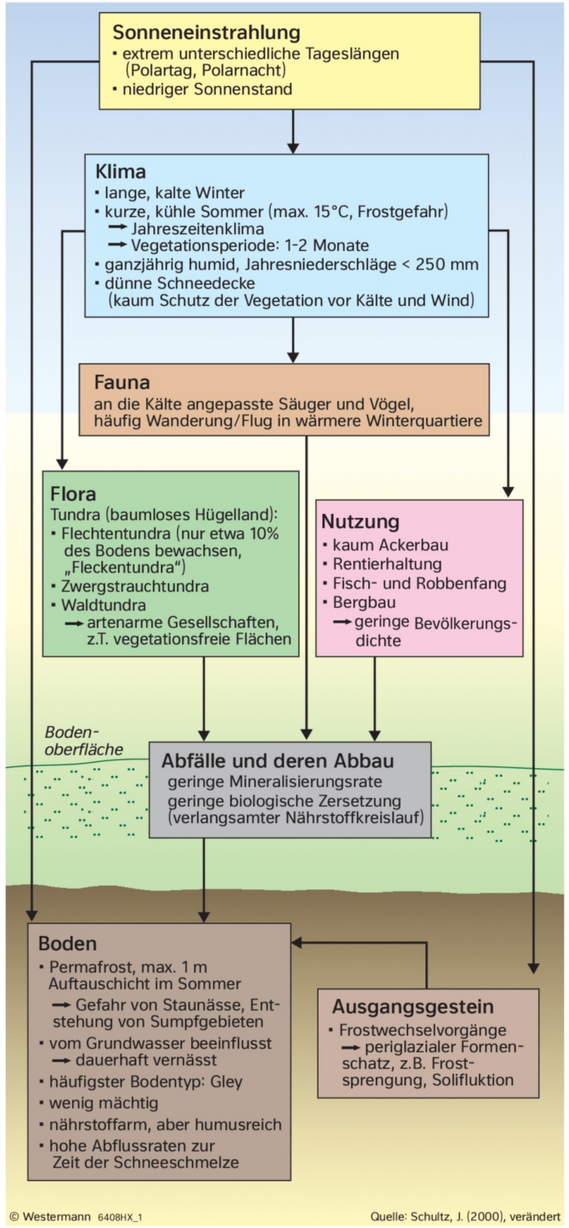
Gleye werden durch einen hohen Grundwasserspiegel beeinflusst. Im wassergesättigten Unterboden (Gr) werden Eisen- und Manganverbindungen unter Sauerstoffabschluss (anaerob) reduziert (z. B. Fe^{3+} zu Fe^{2+}). Die Reduktion führt zu einer Entfärbung (Nassbleichung) des Horizonts, der eine grün-blau-gräuliche Farbe annimmt.

Durch Schwankungen des Grundwassers und durch kapillaren Aufstieg kommt es im Kontaktbereich zwischen Grundwasser und Luft im nicht wassergesättigten Oberboden (Go) zur Oxidation. Die Eisen- und Manganverbindungen werden wieder ausgefällt, was zu einer rostbraunen bzw. schwarzen Färbung führt.

M4 Vergleyung

Kohlenstoffsenke

Etwa ein Viertel der Landfläche der Erde ist Permafrostgebiet. Hier ist die Abbaurate von organischem Material so reduziert, dass seit Jahrtausenden während der Auftauphase mehr Humus entsteht als zersetzt wird. Es bildet sich unter nasskalten Bedingungen eine Torfschicht, die als Kohlenstoffsenke allein in der Arktis etwa 455 Gigatonnen Kohlenstoff bindet, das sind etwa 25 Prozent des gesamten weltweiten Bodenkohlenstoffs. Im Zuge der aktuellen Klimaerwärmung taut der Permafrost länger und tiefer auf, sodass nicht nur Mammutüberreste freigelegt werden, sondern vor allem das organische Material des Bodens länger und schneller zersetzt



M5 Merkmale der Ökosysteme in der Polaren und der Subpolaren Zone, speziell der Tundra

wird. Die dabei freigesetzten Treibhausgase wie Methan und CO_2 sowie die gesunkene Albedo weiter Bereiche (weniger Bedeckung mit Eis und Schnee, mehr Wasserflächen) verstärken in einer Rückkopplung den rezenten Klimawandel und damit auch das weitere Auftauen des Permafrosts.

M1 Die eisfeste Prirazlomnaya-Bohrinsel in der westsibirischen Pechorasee (Russland)

M2 Gaspipeline in der russischen Tundra

Rohstoffe um jeden Preis? – Chancen und Probleme der Rohstoffgewinnung

Die Ökosysteme der Polaren und der Subpolaren Zone reagieren unter den extremen klimatischen Bedingungen äußerst empfindlich auf Störungen. Dennoch nimmt der menschliche Nutzungsdruck auf das Rohstoffpotenzial von Arktis und Antarktis zu. Wie ist ihre Nutzung angesichts des rezenten Klimawandels und des Ziels der Nachhaltigkeit zu bewerten?

Modernste Technik wie Flugzeuge und Satelliten, Tauchroboter und Sonar oder Geräte zur Messung von Magnetfeldern oder seismischen Wellen ermöglichen heutzutage die Exploration von Bodenschätzen in bislang unzugänglichen Gebieten von Polarer und Subpolarer Zone. Es werden bedeutende Lagerstätten von fossilen Brennstoffen und mineralischen Rohstoffen vermutet oder sie sind bereits gefunden. Zum Beispiel befinden sich die weltweit größten Nickelvorkommen auf der Halbinsel Kola (Russland) und die weltweit größten noch unerschlossenen Vorkommen an Seltenen Erden liegen in Russland und auf Grönland; 30 Prozent der weltweiten Erdgasreserven und 15 Prozent der Erdölreserven liegen in der Arktis. Zusätzlich bedeutet der Rückgang des Permafrosts und des Inlandeises, dass weitere Lagerstätten gefunden werden und dass ihre Erkundung und ihr Abbau leichter und billiger sein könnten. Hieraus ergeben sich für die potenziellen Förderländer große Chancen, aber auch gewichtige Probleme für die Zukunft.

Chancen

Die weltweit zunehmende Nachfrage nach Rohstoffen führt zu erheblichen ökonomischen Vorteilen der Förderung: Binnen- und Weltmarkt können beliefert werden, wirtschaftliche Importabhängigkeiten werden gesenkt, Arbeitsplätze entstehen und das Bruttonationaleinkommen des Förderlandes steigt. Der einzelne Arbeitnehmer profitiert von seinem Einkommen und der Staat hat dank höherer Steuereinnahmen mehr Mittel für Sozial- und Gesundheitsleistungen, für Bildung oder für Infrastrukturprojekte – auch in peripheren Gebieten –, sodass soziale Vorteile für bestimmte Einwohnergruppen entstehen. Sollten die Einnahmen auch für Maßnahmen des Natur- und Umweltschutzes ausgegeben werden (z. B. Monitoring des Einhaltens von Schutzmaßnahmen, Förderung regenerativer Energien), ergeben sich aus dem Abbau der Rohstoffe indirekt auch ökologische Vorteile. Da der bislang wenig oder gar nicht genutzte Raum erschlossen und besiedelt wird, bieten sich für das Förderland auch politische Chancen: In Verbindung mit den ökonomischen Vorteilen steigen Macht, internationale Bedeutung und Unabhängigkeit des Staates.

AUFGABEN

1. Stellen Sie Vermutungen an, welche Maßnahmen die Prirazlomnaya-Bohrinsel gegen Eis und Kälte schützen sollen (M1).
2. Erläutern Sie, wie die Geofaktoren Klima, Wasser, Relief und Boden den Bau und den Betrieb einer Pipeline in der Arktis beeinflussen (M2).
3. Beschreiben Sie Besiedlung, Rohstoffvorkommen und Transportwege in der Arktis. Erstellen Sie anschließend ein Beziehungsgefüge dieser drei Faktoren (M6, Atlas).
4. Nehmen Sie Stellung zu dem Satz „Auf lokaler, regionaler und globaler Ebene ergeben sich aus der Nutzung der Polaren und der Subpolaren Zone nur Nachteile.“ (M3, M4, M5).

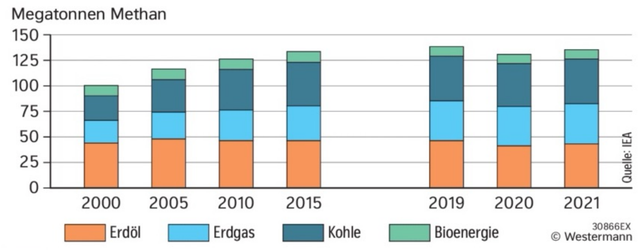
M3 Reinigungsarbeiten nach der Havarie des Tankers Exxon Valdez (Alaska/USA, 1989)

M4 Umweltschäden in Norilsk (Russland)

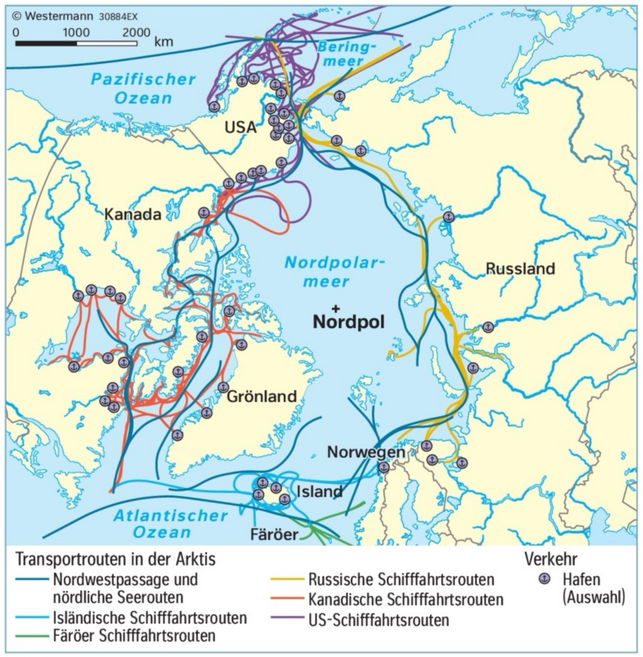
Probleme

Erkundung und Abbau der Rohstoffvorkommen sind unter den extremen Beleuchtungs- und Klimabedingungen logistisch sehr aufwendig und deswegen sehr teuer. Kälte, Eis und Schnee setzen Mensch und Material höchsten Belastungen aus und der Schiffstransport ist durch Stürme, Eisberge und Packeis permanent gefährdet. Während des Sommers führt das oberflächliche Auftauen des Permafrosts nicht nur zu einer Mückenplage, sondern auch zu schlammigen Böden, die Straßen und Gebäude rutschen lassen, wenn sie nicht aufwendig im dauerhaften Permafrostbereich tief verankert und vollständig isoliert sind. Nachteilig ist auch, dass sämtliche Ausrüstungsgegenstände sowie die Dinge des täglichen Bedarfs über weite Strecken herbeitransportiert werden müssen; umgekehrt ist die Distanz der geförderten Rohstoffe zum Abnehmer ebenfalls groß. Bei Transport, Erkundung und Exploration von Rohstoffen werden also erhebliche Energiemengen benötigt, deren Treibhausgase zum rezenten Klimawandel beitragen.

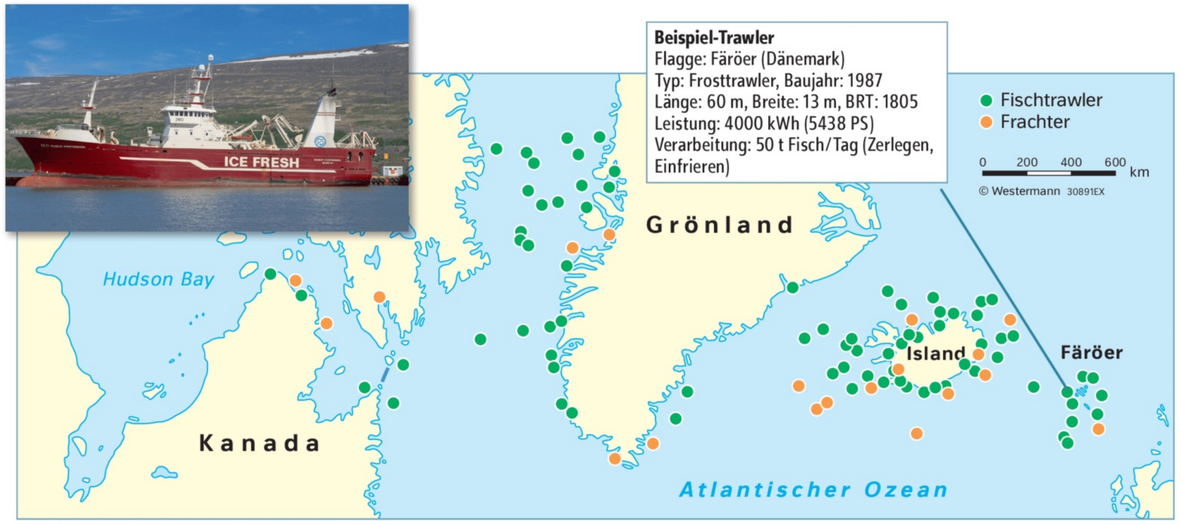
In der Polaren und der Subpolaren Zone laufen aufgrund der tiefen Temperaturen und der geringen Luftfeuchte viele biologische und chemische Prozesse nur extrem langsam ab. Das bedeutet, dass Schädigungen von Wasser, Boden oder Vegetation, z. B. bei Erdölförderung und -transport, oft auf Jahrzehnte hinaus bestehen bleiben, sehr oft sind sie sogar irreversibel. Flora und Fauna reagieren hier am Rand ihres Lebensraums äußerst empfindlich auf jegliche Störung von außen. Schon geringste Änderungen können bedeuten, dass das Ökosystem erheblich gestört wird und Pflanzen oder Tiere ihre Überlebensfähigkeit oder ihren Lebensraum verlieren.



M5 Globale Methanemissionen des Energiesektors



M6 Transportrouten in der Arktis



M1 Schiffsverkehr im Nordatlantik am 02.11.2022, 9:30 Uhr MEZ (Auswahl), kleines Foto: Trawler vor Island

E↑ Zerstört die Menschheit ihre Lebensgrundlage? – Fischfang und Überfischung in Arktis und Antarktis

Der Fischfang ist eine wichtige Nahrungsquelle für die Menschheit. Führt der wachsende Nutzungsdruck einer weltweit steigenden Bevölkerung zur Überfischung auch entlegener Meeresregionen wie denen der Polaren und der Subpolaren Zone?

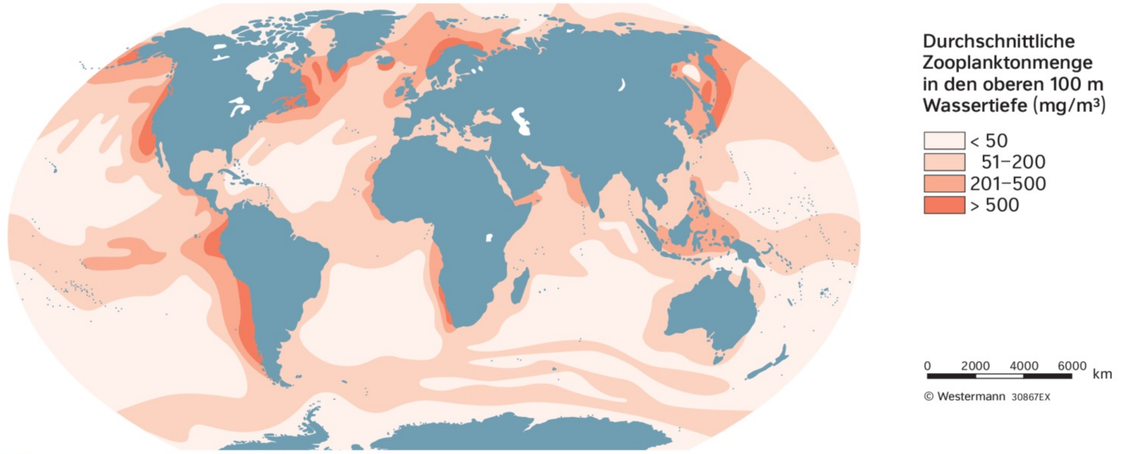
Die Weltbevölkerung ist von circa drei Milliarden 1960 auf über acht Milliarden Menschen im Jahr 2022 gewachsen. Im gleichen Zeitraum stieg der Konsum von Fisch von etwa 30 Millionen auf 160 Millionen Tonnen, was einem Anstieg des Fischkonsums pro Kopf von 9 auf 20 Kilogramm entspricht. Der starke Anstieg der Fangmengen resultiert zum einen daher, dass mittlerweile etwas mehr als die Hälfte der Fischproduktion aus Aquakulturen stammt. Zum anderen führen der hohe Nutzungsdruck, verbesserte Schiffstechnik und moderne Fangmethoden dazu, dass sowohl tiefer (bis 2000 m) als auch abgelegener von den traditionellen Fanggebieten gefischt wird. In allen 19 Fanggebieten, in die die FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) die Weltmeere aufgeteilt hat, wird mittlerweile Fischfang betrieben. Traditionell wird der Nordatlantik stark befischt. Dabei spielt die Nähe zu Europa und Nordamerika eine Rolle; ebenso, dass Ausläufer warmer Meeresströme wie der Nordatlantikstrom vor Island und nördlich von Norwegen auf kalte arktische Meeresströme stoßen. Die in den Verwirbelungen auftreibenden Mineralstoffe sind die ideale Voraussetzung für eine Nahrungskette von Phytoplankton, Zooplankton und Fischen.

Überfischung

Der effektive moderne industrielle Fischfang führt zu einer **Überfischung** der traditionellen Fangregionen, d.h., es werden mehr Fische entnommen als nachwachsen können. Man weicht deswegen auf andere Zielarten aus oder verlegt die Fanggebiete weg von den Küsten in die Hochsee oder in entlegenere Regionen, die deswegen ebenfalls starkem Nutzungsdruck unterliegen. Trotz seiner großen Entfernung zu den weltweiten Bevölkerungszentren und der extremen klimatischen und nautischen Bedingungen rückt deswegen allmählich auch das Produktionspotenzial der antarktischen Gewässer in den Blickpunkt. Auch hier gibt es große Fischbestände, die Teil einer Nahrungskette von Phytoplankton und Zooplankton (z.B. Krill) sind.

AUFGABEN

1. Beschreiben und erklären Sie die Verteilung der Fischereischiffe im Nordatlantik bei Grönland, Island und den Färöer-Inseln (M1, M2).
2. a) Zeigen Sie die Gefahren einer Überfischung der Meere auf (M4, M5).
   b) Erläutern Sie Aufbau und Funktion eines Frosttrawlers der Hochseefischerei (M1, Internet).
3. Stellen Sie eine Liste von zehn möglichen Schutzmaßnahmen gegen Überfischung auf. Diskutieren Sie anschließend im Kurs die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen (M3, Internet).
4. Gestalten Sie ein Poster, das die Bedeutung der arktischen Meere für die Nahrungsmittelproduktion aufzeigt (M2, M4).



M2 Verbreitung des Zooplanktons

Schutzmaßnahmen

Die Zerstörung der Fanggebiete bedeutet auch ökonomische Einbußen und entzieht der Menschheit eine wichtige Nahrungsquelle. Durch internationale Fischereiabkommen mit Begrenzungen der Fangmengen, Ausweisung von regionalen oder saisonalen Schutzzonen oder dem Verbot bestimmter Fangmethoden versucht man zwar die Fischbestände zu erhalten, doch nicht alle Staaten sind diesen Abkommen beigetreten. Erst 2023 haben sich die Mitgliedstaaten der UNO auf ein Abkommen zum Schutz der Weltmeere geeinigt, das den zukünftigen Schutz von 30 Prozent der Meere vorsieht.

„Nur registrierte Schiffe dürfen vor den Küsten Islands ihre Netze auswerfen und es muss alles angelandet werden, was den Fischern in die Netze geht – unabhängig davon, auf welche Fischart sie es vornehmlich abgesehen hatten. Das sogenannte ‚Discard-Verbot' untersagt strikt, unerwünschten Beifang auf offener See einfach wieder über Bord zu kippen. Alles muss an Land gebracht und entsprechend verarbeitet werden. […]
Zurück im Hafen wird der gesamte Fang unter dem wachsamen Auge von Inspektoren gewogen und registriert. Die Kontrolleure haben Zugang zu allen relevanten Daten wie Fanggebiet, Tag des Fangs, Ausrüstungstyp und Mengenangaben der einzelnen Fischarten. […] Damit der Nachwuchs gesichert ist, existieren verpflichtende Schutzmaßnahmen für ‚Babyfische', die durch vorgeschriebene Maschengrößen den Fangnetzen entschlüpfen können. Gefährdete Bestände werden zusätzlich durch zeitweise oder auch langfristige Schließung einzelner Fanggebiete geschont. […] Und jeder Verstoß wird mit harten Strafen geahndet. Bis zu sechs Jahre Gefängnis sowie der Entzug der Fangerlaubnis drohen bei Nichteinhaltung der Regeln."

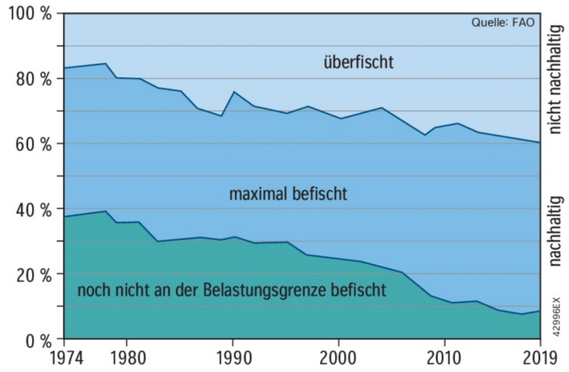
Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M3 Fischfang: Schutzmaßnahmen in Island

Region	Durchschnitt 1980 – 1990	Durchschnitt 2000 – 2010	2022
Atlantik, NW	2,91	2,22	1,54
Atlantik, NO	10,44	9,81	8,31
Pazifik, NW	20,95	19,97	19,15
Pazifik, NO	2,74	2,79	2,86
Atlantik, SW	1,78	2,15	1,70
Atlantik, SO	2,32	1,54	1,36
Pazifik, SW	0,57	0,69	0,43
Pazifik, SO	10,23	13,10	8,40
Arktis/Antarktis	0,48	0,14	0,46

Quelle: FAO 2023

M4 Fangmenge Fisch in Mio. Tonnen (nördlichste und südlichste Fangregionen der FAO-Klassifikation)



M5 Entwicklung der Fischbestände (1974 – 2019)

M1 Forschungsschiff Polarstern im Packeis während der MOSAiC-Expedition (29.02.2020, 12:12 Uhr MEZ)

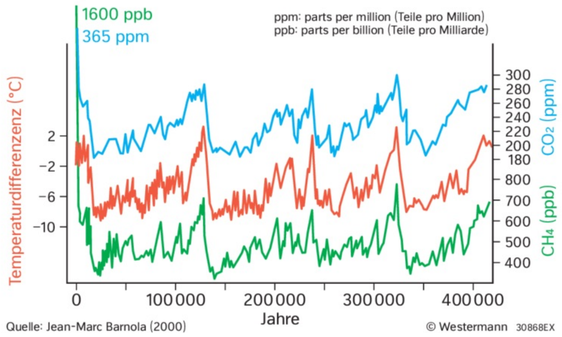
E↑ Der Schatz liegt im Eis – Klimaforschung in Arktis und Antarktis

Die Klimaforschung geht davon aus, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre besteht. Um dies zu bestätigen, werden Daten zur Klimageschichte der letzten Jahrtausende benötigt. Dazu sind Expeditionen und Forschungsstationen in Arktis und Antarktis unerlässlich.

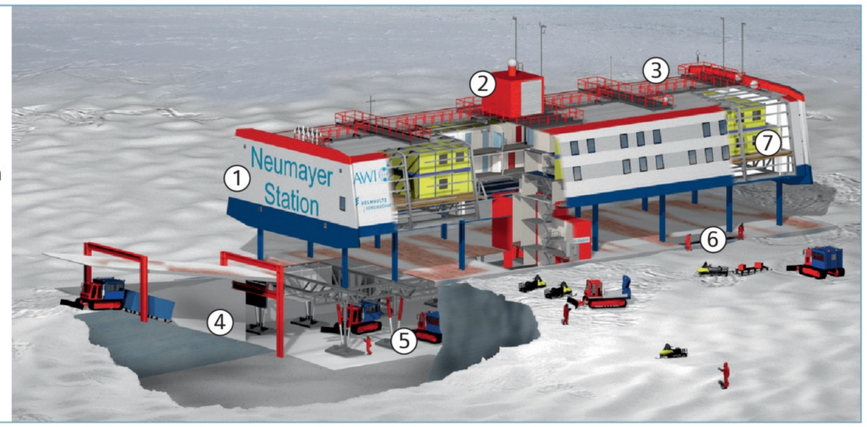
Anhand von Tiefseebohrkernen können vergangene Klimazustände der letzten 200 Millionen Jahre rekonstruiert werden. Hierbei werden maritime Sedimente bei Bohrungen entnommen und zum Beispiel auf das Verhältnis von Sauerstoffisotopen in fossilen Skeletten analysiert. Dies ermöglicht Aussagen über frühere Temperaturverhältnisse. Es bestehen aber Datierungsschwierigkeiten und die Zusammensetzung der Atmosphäre kann nicht im Detail erschlossen werden. Hier setzt die polare Klimaforschung an, die Eisbohrkerne dem zum Teil jahrtausendealten Eis entnimmt und die im Eis eingeschlossenen Luftbläschen auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. Bis zu 100 000 Jahre alt ist dabei das untersuchte Inlandeis auf Grönland und bis zu 900 000 Jahre das der Antarktis. Das durch die Sauerstoffisotope bestimmte Alter der Luft entspricht dabei nicht ganz dem des Eises, da in den jeweils obersten 100 Metern Eis noch ein geringer Luftaustausch stattfinden konnte. Dennoch können aus der Kombination verschiedener Bohrungen die Temperatur und die Anteile der Treibhausgase Kohlenstoffdioxid und Methan in der Atmosphäre für die letzten 700 000 Jahre bestimmt werden. Und das Ergebnis ist eindeutig: Zwischen der Temperatur und der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre besteht nachweisbar ein enger Zusammenhang. Hieraus können Klimaprognosen erstellt werden, die je nach Menge der Treibhausgase unterschiedlich ausfallen werden.

AUFGABEN

1. Erklären Sie die natürlichen Beleuchtungsverhältnisse der Fotografie (M1).
2. Erörtern Sie die Herausforderungen der Polarforschung unter extremen klimatischen Bedingungen (M1, M3, M4).
3. Beschreiben Sie den Verlauf der Temperaturschwankungen der letzten 420 000 Jahre. Prognostizieren Sie anschließend aus der Korrelation von Treibhausgasen und Temperatur den zukünftigen Klimaverlauf (M2).
4. Gestalten Sie ein Schaubild, das die Schlüsselstellung der Polargebiete für die Klimaforschung herausstellt (Text, M5).
5. Debattieren Sie in der Klasse, wie sinnvoll es ist, dass Deutschland eine eigene Forschungsstation in der Antarktis betreibt.



M2 Kohlenstoffdioxid-, Temperatur- und Methanwerte der letzten 420 000 Jahre (Eisbohrkernanalyse der russischen Forschungsstation Wostok/Antarktis)



M3 Die deutsche Forschungsstation Neumayer III in der Antarktis

Die deutsche Polarforschung

Seit einer ersten Grönlandexpedition 1868 unter Carl Koldewey gehört Deutschland zu den weltweit führenden Forschungsnationen in Arktis und Antarktis. Die Koordination übernimmt das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven, das mehrere Eiscamps und Forschungsstationen unterhält, darunter die ganzjährig bewohnte Neumayer-Station III in der Antarktis. Forschungsflugzeuge und Forschungsschiffe wie die Polarstern sind weltweit im Einsatz. Das AWI koordinierte auch die internationale MOSAiC-Expedition 2019/2020, die bisher größte Forschungsexpedition in der Arktis, bei der die Polarstern im Packeis überwinterte und die Eisdrift am Nordpol verfolgte.

„Ich lerne nun, wie man einen Schneekern bohrt, um über Volumen- und Gewichtsmessungen zur Schneedichtebestimmung zu kommen. Die Messung der Dichte ist notwendig, um aus Schneepegelmessungen die Abschätzung der Schneeakkumulation zu erhalten, denn Schnee ist unterschiedlich dicht, und bisher gibt es keine Möglichkeit, Schneedichte durch Fernerkundung zu bestimmen. Das heißt, diese Messungen sind wichtig, um sowohl Satellitenmessungen, die nur die Schneeoberfläche (und deren Änderung) erfassen, wie auch Computersimulationen zum antarktischen Klima zu evaluieren.
Am AWI [Alfred-Wegener-Institut] wurde [...] ein neues Gerät entwickelt, mit dem die mittlere Schneedichte der oberen 100 cm in wenigen Minuten bestimmt werden kann. [...] Die Alternative hierzu ist schweißtreibend und zeitaufwendig und heißt Schneeschacht. Man gräbt eine 1 m tiefe Grube in den Schnee und beprobt eine senkrechte Seitenwand, das heißt, man entnimmt auch hier Schneemengen mit Röhren oder Dosen, deren Volumen bekannt ist. Mithilfe des Gewichtes des Schnees ist die Dichte (kg pro m³) einfach zu bestimmen. Bei Windstärken von 5–6 Bf, die es am Mittwoch hatte, ist (a) erstmal die Grube von gestern wieder zugeweht [...], (b) die Arbeit im Feld bedingt einfach. Alles ist schwieriger: Waage ablesen, Protokoll schreiben, weiter buddeln. [...]“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Aus einem Blog des Glaziologen Peter Köhler (Neumayer-Station III, 11.11.2021)

„Wir erforschen das Eis in seinem ursprünglichen Zustand, lange bevor der Mensch darauf einwirken konnte‘, sagt Frank Wilhelms, Glaziologe und Leiter der Eiskerngruppe in Bremerhaven. Da nicht einfach an der Zeituhr gedreht werden kann, untersuchen die Wissenschaftler mit aufwendigen Messmethoden Eiskerne. Diese kann man sich als etwa zehn Zentimeter dicke, rund drei Kilometer lange Stangen aus Gletschereis vorstellen. Proben, für die tief in die Eisschilde der Antarktis und Grönlands gebohrt wird. [...]
Eine Methode ist die Untersuchung von chemischen Spurenstoffen, zu denen zum Beispiel Staub oder Salze gehören. Untersucht man den Eiskern auf seinen Sulfatgehalt, können die Forscher feststellen, wann in der Vergangenheit Vulkane ausgebrochen sind. Eine weitere Frage ist, wie sich die Temperatur etwa in der Antarktis vor hunderttausenden von Jahren entwickelt hat. Aufschluss darüber gibt die Sauerstoff-Isotopie des Wassers. Grundlage dieser Methode ist, dass das Verhältnis verschieden schwerer Isotope des gleichen Atoms temperaturabhängig ist. Das Eis wird also geschmolzen und auf das Isotopen-Verhältnis hin untersucht. [...] Insgesamt also ein enormer Aufwand, um an die verschlüsselten Informationen im Eis zu gelangen. Aber er lohnt sich: Der älteste derzeit analysierte Eiskern ist achthunderttausend Jahre alt und gibt unter anderem Auskunft über die Konzentrationen von Kohlendioxid und Methan in den vergangenen hunderttausend Jahren. Diese Auskunft ist mit keinem anderen Klimaarchiv zu bekommen.“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M5 Das Eislabor des Alfred-Wegener-Instituts

M1 Jungtier mit Eisbärmutter auf Spitzbergen (Norwegen)

E↑ Irgendwann gibt es kein Zurück mehr – Kippelemente im Klimasystem

Wird eine Schraube zu fest angezogen, dreht sie ab einem bestimmten Punkt durch und wird dauerhaft nicht mehr halten. Ähnlich verhält es sich mit Kipppunkten in der Natur, ab denen, einmal erreicht, dauerhaft Prozesse oder Systeme der Natur verändert sind. Welche sind diese in der Polaren und der Subpolaren Zone?

Rückkopplungseffekte und Kippelemente

In der Polaren und der Subpolaren Zone zeigen sich verschiedene klimatische **Rückkopplungseffekte**. So lässt eine erhöhte Wärmezufuhr eine mit Eis und Schnee bedeckte Fläche z. T. schmelzen, sodass die Albedo der Fläche sinkt. Infolgedessen erhöht sich die weitere Wärmeaufnahme von kurzwelliger Strahlung der Sonne und das Eis schmilzt umso mehr (Eis-Albedo-Effekt). Ein weiterer Rückkopplungseffekt ist beim Auftauen des Permafrostbodens zu beobachten: Je weiter und schneller der Boden auftaut, desto mehr wird sein bislang gefrorenes organisches Material zersetzt. Die frei werdenden Treibhausgase tragen zur rezenten Klimaerwärmung bei und lassen den Boden umso schneller auftauen. Während Rückkopplungseffekte einen Verlauf beschreiben, definieren Kippelemente großskalige Elemente des Erdsystems, die ab einem bestimmten Kipppunkt unumkehrbar einen anderen Zustand einnehmen (▸S. 45: M3). Kipppunkte können durch die zunehmende globale Erwärmung erreicht werden.

Kippelemente bis 2 °C Temperaturerhöhung

Ein Kippelement ist das Abschmelzen des Grönländischen Inlandeises, das momentan noch bis zu drei Kilometer dick ist. Die aus dem Abschmelzen des Eises resultierende Volumenabnahme bedeutet, dass die Eisoberfläche absinkt und damit in wärmere Luftschichten kommt, sodass das Eis zunehmend schneller abschmilzt. Sollte es innerhalb von 1000 – 15 0000 Jahren ganz abschmelzen, so erhöht sich der Meeresspiegel um sieben Meter. Etwas rascher (500 – 12 000 Jahre), aber weniger stark (3 m) erhöht sich der Meeresspiegel, wenn der westantarktische Eisschild kollabiert. Dessen Gletscher stauen sich an einer Erhöhung des Festlandsockels, bevor sie ihn in Richtung Ozean überwinden. Da diese Barriere unter dem Niveau des Meeresspiegels liegt, wird sie bei weiterem Rückzug der schmelzenden Gletscher von Meerwasser überspült und das eindringende Wasser gelangt unter die Gletscher. Es bringt sie zusätzlich von unten zum Schmelzen (▸S. 46: M1).

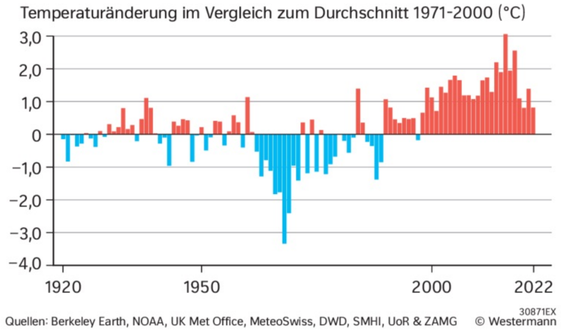
AUFGABEN

1. Der rezente Klimawandel wird in den Medien gerne mit dem Bild verzweifelt schwimmender Eisbären illustriert. Erörtern Sie im Kurs, was für und was gegen solch eine emotionale Darstellung spricht (M1).
2. Zeichnen Sie einen Comic, der den Eis-Albedo-Effekt veranschaulicht (Text, ▸S. 13: M5).
3. Erklären Sie die Flächenänderung des Meereises von Arktis und Antarktis (M2 – M4).
4. Legen Sie am Beispiel von Temperatur- und Meereseisveränderungen dar, weswegen Kippelemente unumkehrbar sind (M2, Text, ▸S. 45: M3).
5. Nehmen Sie Stellung zu der Aussage „Das Eis der Antarktis nimmt in Fläche und Dicke zu.“ (M5).
6. Erläutern Sie die Bedeutung von Kippelementen für den rezenten Klimawandel.

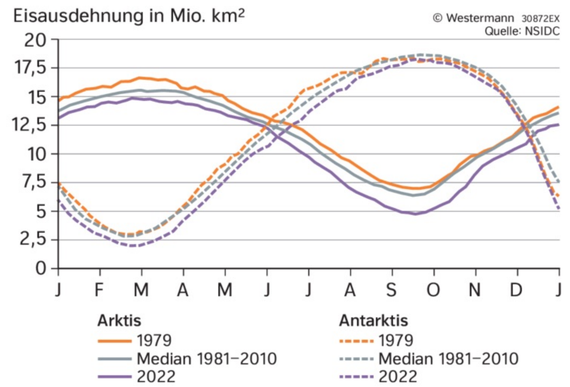
Ein drittes Kippelement ist das Schmelzen des arktischen Meereseises. Hier vermuten Forscherinnen und Forscher, dass der Kipppunkt für das arktische Sommereis aufgrund des Eis-Albedo-Effekts bereits überschritten ist. Zwar wird das arktische Winter-Meereis bis zu einer Temperaturerhöhung von etwa 6,3 °C jedes Jahr in der Polarnacht gefrieren, doch nehmen Dicke und Ausdehnung des Sommereises seit Jahrzehnten ab. Seit 1979 ist seine Fläche um etwa zwei Millionen Quadratkilometer geschrumpft.
Weitere Kippelemente in der Polaren und der Subpolaren Zone sind das Auftauen der Permafrostböden, die Ausgasung von Methan aus den Ozeanen und die abnehmende Kohlenstoffaufnahme des Meeres. Alle drei Kippelemente führen dazu, dass sich der Anteil von Treibhausgasen (u.a. CO_2, CH_4) in der Atmosphäre erhöht und somit auch die globale Durchschnittstemperatur.

Kippelemente bei weiterer Temperaturerhöhung

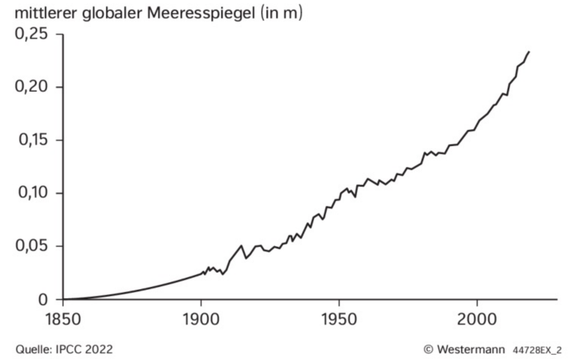
Ab einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur von 3 °C wird mit dem Teilkollaps des ostantarktischen Eisschilds und jenseits von 7,5 °C mit seinem vollständigen Kollaps innerhalb von ca. 10 000 Jahren gerechnet. Die geschmolzenen Eismassen würden den Meeresspiegel um etwa 50 Meter erhöhen. Ab einer Temperaturerhöhung von 4 °C wird eine rasche (15 – 300 Jahre) Abschwächung der thermohalinen Zirkulation des Atlantiks erwartet, die warmes Oberflächenwasser nach Norden und kaltes Tiefenwasser nach Süden transportiert (▸S. 32/33). Treibender Faktor ist hier u.a. das Absinken von kaltem, salzreichem und damit schwerem Wasser vor Labrador und Grönland. Sollte das schmelzende grönländische Inlandeis mehr Süßwasser zuführen, erlahmte dieser Antrieb und der warme Golfstrom würde die Temperaturen im nördlichen Europa nicht mehr spürbar erhöhen. Vermutlich verlagerte sich die Innertropische Konvergenzzone nach Süden und die Wind- und Niederschlagsverhältnisse würden sich weltweit ändern.



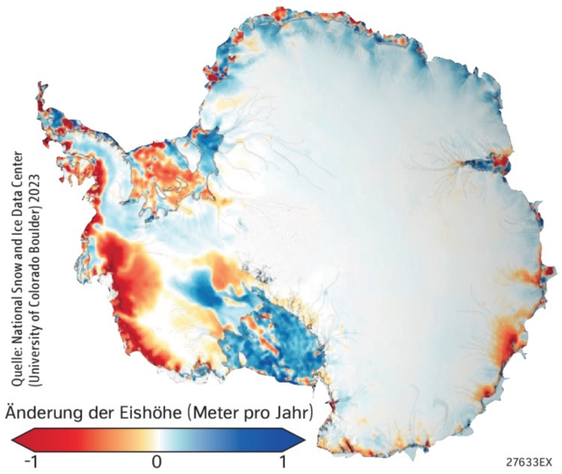
M2 Temperaturveränderungen im Europäischen Nordmeer (1920 – 2022)



M3 Fläche des arktischen und antarktischen Meereises im Jahresverlauf



M4 Veränderung des mittleren globalen Meeresspiegels



M5 Veränderungen der antarktischen Eisdicke pro Jahr (Vergleich 2003 – 2009 mit 2018 – 2022)

M1 Ansicht und Klimadiagramm von Tasiilaq (Grönland)

E↑ Soll Grönland auf den rezenten Klimawandel hoffen? Veränderungen und Hoffnungen im arktischen Raum

„Ein weites Land haben wir Grönländer als Land […] Ihr Meer hat, was für sie bestimmt ist" singen die Grönländerinnen und Grönländer in einer ihrer Nationalhymnen. Jahrhundertelang war das Meer tatsächlich die alleinige Lebensgrundlage und auch heute noch sind 93 Prozent des Exports Fischereiprodukte. Grönland möchte von dieser einseitigen Ausrichtung der Wirtschaft wegkommen und hofft auf neue Möglichkeiten, die sich durch den rezenten Klimawandel ergeben.

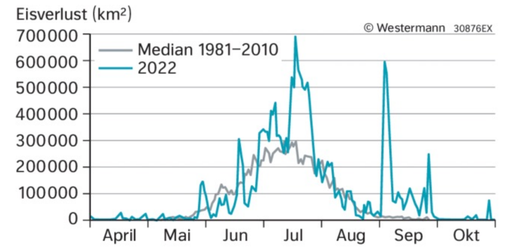
Grönland ist ein autonomes Überseeterritorium Dänemarks mit einer Fläche von fast 2,2 Millionen Quadratkilometern und 57 000 Einwohnerinnen und Einwohnern. Seine nördliche Lage und das über 80 Prozent des Landes bedeckende Inlandeis gestatten nur an wenigen Stellen der Küste Siedlungen, die meist nur auf dem Seeweg miteinander verbunden sind. Das Pro-Kopf-Einkommen beträgt etwa 36 000 US-Dollar (2020), doch wird das Land stark von Dänemark unterstützt und mehr als 40 Prozent der Arbeitsplätze sind staatlich. Neben der Fischindustrie spielt der Tourismus eine kleinere Rolle.

Veränderungen durch den rezenten Klimawandel

Die wärmeren Temperaturen des rezenten Klimawandels werden Grönland deutlich verändern: Erstens wird die Bedeckung durch das Inlandeis erheblich abnehmen, wobei der Schmelzwasserabfluss zunehmen wird. Zweitens wird das Meereis weiter und saisonal länger zurückgehen. Beides wird den Meeresspiegel ansteigen lassen. Und drittens wird auch der Permafrostboden in weiten Bereichen auftauen. Da die grönländischen Siedlungen fast ausnahmslos direkt am Meer liegen, gefährden der Meeresspiegelanstieg und die Vergrößerung der Flüsse diese Siedlungen. Zudem müssen die Fundamente sämtlicher Gebäude tauglich für das Auftauen des Permafrosts gemacht werden, um die Zerstörung der Häuser zu verhindern. Hier führt der aktuelle Klimawandel zu großen Herausforderungen für Grönland. Dennoch werten viele Einwohnerinnen und Einwohner den rezenten Klimawandel als positiv und erwarten Veränderungen zum Guten hin: So impliziert der Rückgang des Inlandeises, dass der Reichtum an Bodenschätzen einfacher, billiger und deswegen in erheblich größerem Umfang erschlossen werden kann (M6, M7). Wirtschaftlich positiv wird auch der Rückgang des Meereises gesehen. Fischerei- und Kreuzfahrtschiffe werden weiter und saisonal länger ausfahren und eine freie Nordwestpassage bedeutet, dass ein merklicher Teil des Weltwarenverkehrs in Zukunft durch grönländische Gewässer gehen wird, wovon sich Grönland eine Aufwertung seiner Häfen verspricht. Auch ermöglichen die wärmeren Temperaturen eine Ausweitung der Landwirtschaft (Schafe, Kühe) und machen Grönland für Touristinnen und Touristen attraktiver.

AUFGABEN

1. Erklären Sie das Aussehen von Landschaft und Siedlung auf der Grundlage des Klimas (M1).
2. Zeigen Sie auf, dass die Eisschmelze Grönlands ein Kippelement ist (M2, M4, M5, ▸S. 102/103).
3. Begründen Sie, weswegen die landwirtschaftliche Nutzfläche Grönlands nur langsam wächst (M3).
4. Recherchieren Sie Bedeutung und Probleme der Nordwestpassage (▸S.111: M5, Internet, ▸S. 228).
5. Erörtern Sie die mit dem Klimawandel verbundenen Entwicklungsmöglichkeiten Grönlands. Bewerten Sie dabei auch die Aussagen des grönländischen Ministers für Industrie- und Energie (M6, M7, ▸S. 111: M5).



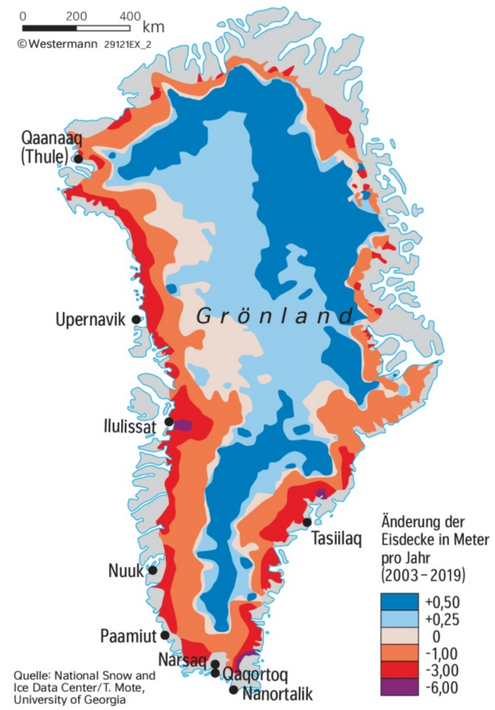
Quelle: National Snow and Ice Data Center Greenland

M2 Fläche der Eisschmelze in Grönland

	2005	2010	2015	2020
Nuuk	21,1	21,1	21,1	21,1
Paamiut	0,1	0,1	0,1	0,1
Narsaq	643,5	725,0	766,9	799,0
Qaqortoq	134,8	150,2	154,1	161,0
Nanortalik	127,5	173,9	184,8	196,0

Angaben in Hektar; Quelle: StatBank Greenland 2023

M3 Distrikte mit landwirtschaftlicher Nutzfläche (Anordnung von Nord nach Süd)



Quelle: National Snow and Ice Data Center/T. Mote, University of Georgia

M4 Durchschnittlicher jährlicher Verlust der Eisdecke Grönlands (2003–2019)

„Der grönländische Eisschild setzt sich zusammen aus dem Schneezutrag und Massenverlust. Und dieser Massenverlust setzt sich aus Schmelzen an der Oberfläche und durch Eis, das in Form von Eisbergen ins Meer fließt, zusammen. Die Summe aus Schneezutrag und Massenverlust bestimmt die Massenbilanz des Eisschildes, die ein bestimmtes Gleichgewicht einnimmt. Wir beobachten jedoch, dass dieses Gleichgewicht gestört ist und das Eisschild mehr Masse verliert als es gewinnt. Das liegt v. a. an der steigenden Temperatur."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M5 Dr. Maria Hörhold, Glaziologin am Alfred Wegener Institut, zur Abnahme des grönländischen Inlandeises

„Begünstigt durch seine Jahrmilliarden andauernde geologische Entwicklung, verbunden mit der Ablagerung verschiedenster vulkanischer und sedimentärer Gesteine, dem Eindringen teils an seltenen Elementen übersättigter Magmen und einer intensiven metamorphen und hydrothermalen Überprägung, verfügt Grönland über ein – auch im Weltmaßstab – sehr großes Rohstoffpotenzial. Schon jetzt sind die Skaergaard-Intrusion (Au, Pd, Pt) und der Ilímaussaq-Alkalikomplex (U, Th, SE, Li, Nb, Be, Zr, NaF) als ‚Giant'- oder sogar ‚Supergiant'-Metallvorkommen einzustufen! Bei einer weiteren Klimaerwärmung, verbunden mit einer Freilegung zusätzlicher, bis dato unbekannter Rohstoffvorkommen, dürfte Grönland langfristig zu einem sehr wichtigen Rohstofflieferanten, der Bedeutung nach ähnlich Australien, Kanada, Südafrika oder Russland, aufsteigen."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M6 Bewertung des mineralischen Rohstoffpotenzials von Grönland durch die Deutsche Rohstoffagentur

„Unsere Regierung hat einen Regulierungsrahmen entworfen, der eine nachhaltige Nutzung [der Ressourcen Öl und Gas] ohne Schäden für die Umwelt vorsieht. Letzteres gilt auch für unseren eigenen Energiebedarf. 70 Prozent unserer Stromversorgung leisten wir mit Wasserkraft. Mit zwei neuen Kraftwerken in den nächsten zehn Jahren wollen wir diesen Anteil auf 90 Prozent steigern. […] Wir leben in einer sehr weit abgelegenen, sehr großen Region. Wir brauchen neue Einkommensmöglichkeiten für unsere Bevölkerung. Soweit wir sehen können, wird der globale Öl- und Gasbedarf weiter steigen. Grönland hat das gleiche Recht wie alle anderen Nationen, diese Einkommensquelle zu nutzen, bis auf der Welt ausreichend erneuerbare Energie gewonnen werden kann. […] Mithilfe von Öl und Gas könnte Grönland auch seine Abhängigkeit von Dänemark verringern. Am wichtigsten ist unserer Regierung, dass Grönland ein Einkommen auf der Grundlage nachhaltiger Entwicklung hat. Bisher stammen 90 Prozent unseres Einkommens aus der Fischerei. Wir versuchen, unsere Wirtschaft zu diversifizieren durch Dinge, die der Welt von Nutzen sein könnten – wie zum Beispiel [Trink-]Wasser, aber auch die Ausweitung des Tourismus, den Betrieb von Rechenzentren mit sauberem Strom und mehr Schiffsverbindungen in die Welt."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M7 Grönlands Industrie- und Energieminister Jess Svane zur Entwicklung Grönlands (16.02.2020)

Durch Thermoerosion zerstörtes Haus in Shishmaref (USA)

Straße mit Permafrostschäden in der Arktis Kanadas

Algenblüte auf dem Eis der Antarktis

M1 **Folgen des rezenten Klimawandels**

AUFGABEN

1. Recherchieren Sie die Lage und die naturräumlichen Bedingungen von Shishmaref (M1A, Internet, Atlas).
2. Beschreiben Sie den Wandel der Lebensbedingungen der Inupiat durch den rezenten Klimawandel und erörtern Sie, was dies für die Kultur dieses Volkes bedeutet (Text, M2, Internet).
3. Erstellen Sie ein Wirkungsgefüge zur Erschließung des Raumes im Permafrostbereich. Berücksichtigen Sie dabei auch den rezenten Klimawandel (M1B, M3).
4. E1 Führen Sie ein Experiment zum Auftauen von gefrorenem Boden durch (▸ S. 236: M1).
5. Erklären Sie auch unter dem Aspekt der Kippelemente die unterschiedlichen Prognosen des Meeresspiegelanstiegs (M1C, M4).
6. Erörtern Sie globale Herausforderungen, die sich aus einem erhöhten Meeresspiegel ergeben (M5).

Die Zukunft ist ungewiss – Auswirkungen des rezenten Klimawandels in der Polaren und der Subpolaren Zone

In einem höchst sensiblen Raum wie dem der Polaren und der Subpolaren Zone zeigen sich die Folgen der globalen Erwärmung früher und deutlicher als anderswo. Welche konkreten Auswirkungen lassen sich hier auf lokaler und regionaler Maßstabsebene erkennen und welche Folgen ergeben sich auf globaler Ebene?

Lokale Auswirkungen – Beispiel Thermoerosion

Aufgrund der steigenden Temperaturen taut der Permafrostboden im Sommer länger und zunehmend tiefer auf. Dies führt zu **Thermokarst**, bei dem der Volumenverlust des abtauenden Eises lokale Absenkungen und Seen entstehen lässt. Gleichzeitig gerät der aufgetaute Boden besonders entlang von Flüssen und Flussufern ins Rutschen, man spricht hier von **Thermoerosion**. Davon stark betroffen ist zum Beispiel Shishmaref, eine Küstensiedlung an der Beringstraße in Alaska (USA) mit 630 Einwohnerinnen und Einwohnern (M1A). Der aufgetaute Boden schützt nun nicht mehr die Häuser vor der Küstenerosion. Diese hat zusätzlich zugenommen, seitdem das Meer nicht mehr regelmäßig Anfang Oktober zufriert und mit einem Eispanzer den Wellengang der Herbststürme verhindert. Mittlerweile ist die Existenz des ganzen Ortes gefährdet. Es wird überlegt, die Siedlung aufzugeben, doch scheitert das bislang an den Kosten. Ein Umzug, zum Beispiel in das nächstgelegene Tin City in 115 Kilometern Entfernung, bedeutet aber auch die Aufgabe einer Dorfgemeinschaft der Inupiat, einer indigenen Gruppe Alaskas, die etwa 13000 Mitglieder umfasst. Nicht nur Gebäude, sondern auch Traditionen und sozialer Zusammenhalt der Inupiat (M2) sind also aufgrund des rezenten Klimawandels gefährdet.

Avanmun Ikayuutiniq	Helping Each Other
Iḷagiiñiq	Family Roles
Mitaallatuniq	Sense of Humor
Qiksiksrautiqaġniq	Respect of Others
Qimmaksautaiññiq	Patience
Sigñataiññiq	Sharing
Anuniaġniqput	Our Hunting Traditions
Miqłiqtuvut	Our Children
Uqaġniqput Iñupiatun	Iñupiat Language
Utuqqanaat Isumattutaat	Elders Wisdom

M2 **Kulturwerte in der Selbstdarstellung der Inupiat (Auswahl)**

Regionale Auswirkungen

Die steigenden Temperaturen führen in der gesamten Polaren und Subpolaren Zone zum Rückzug des Permafrosts, wobei aufgetautes und nun verrottendes organisches Material Methan und CO_2 emittiert und somit zum weiteren Anstieg der Temperaturen beiträgt. Tier- und Pflanzenwelt reagieren mit einer Verlagerung ihrer Lebensräume in Richtung der Pole. Neue Gebiete werden besiedelt, wie zum Beispiel durch Algen an der Eisoberfläche in Gebieten, die im Sommer längere Zeit wärmer als 0 °C sind (M1C). Da die Algenbedeckung wiederum die Albedo des Eises senkt, trägt sie zur weiteren Klimaerwärmung bei. Für den Menschen bedeutet der Wandel, dass einerseits manche Räume leichter erschlossen werden können, da weniger Land- oder Meeresfläche von Eis bedeckt ist. Andererseits führen die Prozesse von Thermokarst und Thermoerosion zu Schäden an Häusern und Infrastruktur und verlangen entweder eine aufwendige Bodenisolierung der Bauten oder eine Fundierung in tiefen Bereichen. Hinzu kommt, dass sich die saisonale Nutzungsdauer von Flüssen als Eispisten verkürzt, was im arktischen Bereich zu erheblichen logistischen Schwierigkeiten führt (M3).

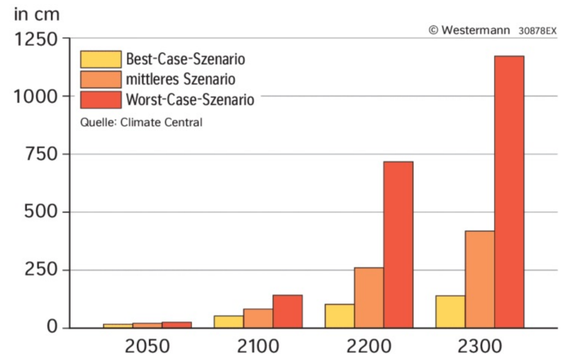
Globale Auswirkungen – Beispiel Meeresspiegelanstieg

Shishmaref ist nicht der einzige durch den rezenten Klimawandel gefährdete Ort in Alaska: Weitere 31 Siedlungen drohen derzeit durch den ansteigenden Meeresspiegel Opfer der Klimaerwärmung zu werden. Dieser steigt alleine durch die Schmelzwasser der Gletscher Alaskas jährlich um 0,27 mm, hinzu kommen die Schmelzwasser der restlichen Arktis und der Antarktis sowie die Schmelzwasser aller ebenfalls dem rezenten Klimawandel ausgesetzten Hochgebirgs- und Gletscherregionen. Etwa zehn Prozent der Landfläche der Erde sind von Eisschilden und Gletschern bedeckt, sodass gewaltige Eismassen auftauen können. Wie hoch und wie schnell der Meeresspiegel weiter steigen wird, hängt davon ab, wie weit die globale Oberflächentemperatur über das vorindustrielle Niveau steigen wird. Im letzten Jahrzehnt betrug die Differenz +1,1 °C, Tendenz steigend. Der Weltklimarat der UNO geht in seinen Prognosen davon aus, dass (je nach Szenario unterschiedlich große) Teile der weltweiten Küstenzone bis zehn Meter Höhe gefährdet sind und damit das Gebiet, das weltweit am dichtesten besiedelt ist. Aus dem Meeresspiegelanstieg ergeben sich dabei noch weitere Folgen: Die jährlichen Flutschäden steigen und küstennah wird es zu Salzwasserintrusionen kommen, d. h. zum Eindringen von Salzwasser in Süßwasseraquifere. Meeresströmungen wie der Golfstrom und auch die globale atmosphärische Zirkulation werden sich in Intensität, Ausrichtung und Lage ändern, extreme Wetterereignisse und Phänomene wie El Niño (▸ S. 36) werden gehäuft auftreten.

„[…] Das hat einen riesigen Einfluss auf die gesamte technische Infrastruktur in Nord-Sibirien und im nördlichen Teil von Nordamerika. Sie werden immer wieder mal Katastrophenmeldungen darüber lesen, dass Öl-Pipelines zum Beispiel beschädigt werden, der Permafrost nachlässt, […] dass Transportwege, die es im Winter über längere Zeit [gab], jetzt nur über einen kurzen Zeitraum zur Verfügung stehen. Permafrostboden, wenn er hartgefroren ist, oder auch zugefrorene Flüsse werden ja als Transportwege benutzt. Das ist dann nicht mehr der Fall. […] Es gibt viele Regionen in Sibirien oder Alaska, da wird man ernste Probleme damit bekommen, Straßen und Gasleitungen instand zu halten. In einer Welt mit schmelzenden Permafrostböden könnte es auch zu häufigeren Rutschungen im Gelände kommen. An Steilhängen könnten Geröll-Lawinen abgehen, wenn der Permafrost im Gebirge wegtaut. Dadurch entsteht ein zusätzliches Risiko für die Infrastruktur."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M3 **Die Polarforscher Jörn Thiede, Peter Lemke und Christer Jonasson zu den Folgen des rezenten Klimawandels**



M4 **Prognosen des Meeresspiegelanstiegs durch das Abschmelzen des antarktischen Eises**

Region	Best-Case-Szenario	Worst-Case-Szenario
Weltweit	97,4	152,5
USA	1,8	2,8
VR China	26,9	42,9
Bangladesch	8,0	14,0
Indien	7,1	11,5
Indonesien	5,6	9,8
Vietnam	11,7	17,0

Quelle: Climate Central

M5 **Prognose der bis 2100 vom Meeresspiegelanstieg betroffenen Bevölkerung in Mio. (Auswahl)**

M1 Pinguine in der Antarktis

Ein Kontinent im Besitz der ganzen Menschheit? – Möglichkeiten zum Schutz der Antarktis

Die Antarktis ist die letzte große Region der Erde, die vom Menschen weitgehend unbeeinflusst ist. Damit bietet sie einzigartige Möglichkeiten für die Wissenschaft, ungestörte natürliche Situationen und Prozesse zu erforschen. Doch Tourismus und ökonomische Interessen üben zunehmend größeren Druck für eine weitere Erschließung des Kontinents aus.

AUFGABEN

1 a) Benennen Sie die im Bild M1 gezeigten Geosphären (▸S. 10/11).
b) Erklären Sie anschließend, weswegen die Geosphären in der Antarktis jeweils besonders schützenswert sind.

2 Recherchieren Sie, wie einzelne Staaten ihre territorialen Ansprüche in der Antarktis begründen (M5, Internet, ▸S. 228).

3 Benennen Sie die Vertragsstaaten des Antarktisvertrags und stellen Sie dar, weswegen Deutschland und andere antarktisferne Staaten dem Antarktisvertrag beigetreten sind (M2 – M4, Internet).

4 Konstruieren Sie arbeitsteilig in Gruppen jeweils einen Fall, der einem Artikel des Antarktisvertrags widerspricht. Präsentieren Sie die Fälle und diskutieren Sie gemeinsam die Notwendigkeit der Artikel (M2, M4).

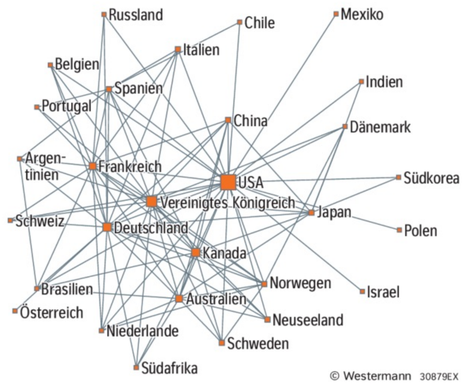
5 Schreiben Sie für die Schülerzeitung einen informativen Artikel über die Antarktis, in dem Sie sich begründet für oder gegen ihren internationalen Status aussprechen.

Die Antarktis ist aufgrund ihrer extremen Klimabedingungen der einzige Kontinent, auf dem keine indigene Bevölkerung lebt. Erst 1821 wurde er erstmalig von einem Robbenjäger betreten. Auch heute noch verhindern die lebensfeindlichen Bedingungen eine dauerhafte Besiedlung, die über die etwa 80 Forschungsstationen von 29 Staaten hinausgeht. In ihnen halten sich im Südsommer gut 4000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf und etwa 1000 überwintern dort. Besucht wird die Antarktis zudem von jährlich über 100 000 Touristinnen und Touristen auf Kreuzfahrtschiffen (Saison 2022/23), die den Kontinent stundenweise bei Landgängen betreten, Tendenz steigend.
Aus historischen Gründen erheben Argentinien, Australien, Chile, Frankreich, Großbritannien, Neuseeland und Norwegen Territorialansprüche in der Antarktis. Die Unwirtlichkeit und die Abgeschiedenheit des Kontinents führten jedoch unter Federführung der UNO 1959 zum **Antarktisvertrag**, in dem eine gemeinsame, friedliche und wissenschaftliche Nutzung der Antarktis festgesetzt wird. Auf territoriale Festlegungen wird bis zur Auflösung des Vertrags verzichtet. Ergänzt wurde der Vertrag in den folgenden Jahrzehnten durch eine ganze Reihe weiterer Zusatzabkommen zum Schutz der Natur. Tourismus und Fischfang sind allerdings begrenzt erlaubt und ein Förderverbot der vermutlich sehr zahlreichen mineralischen Rohstoffe gilt nur bis 2041, da hier die größten Begehrlichkeiten bestehen.

Die Regierungen Argentiniens, Australiens, Belgiens, Chiles, der Französischen Republik, Japans, Neuseelands, Norwegens, der Südafrikanischen Union, der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken, des Vereinigten Königreichs Großbritanniens und Nordirlands und der Vereinigten Staaten von Amerika,

- in der Erkenntnis, dass es im Interesse der ganzen Menschheit liegt, die Antarktis für alle Zeiten ausschließlich für friedliche Zwecke zu nutzen und nicht zum Schauplatz oder Gegenstand internationaler Zwietracht werden zu lassen;
- in Anerkennung der bedeutenden wissenschaftlichen Fortschritte, die sich aus der internationalen Zusammenarbeit bei der wissenschaftlichen Forschung in der Antarktis ergeben;
- überzeugt, dass die Schaffung eines festen Fundaments für die Fortsetzung und den Ausbau dieser Zusammenarbeit auf der Grundlage der Freiheit der wissenschaftlichen Forschung in der Antarktis [...] den Interessen der Wissenschaft und dem Fortschritt der ganzen Menschheit entspricht;
- sowie in der Überzeugung, dass ein Vertrag, der die Nutzung der Antarktis für ausschließlich friedliche Zwecke und die Erhaltung der internationalen Eintracht in der Antarktis sichert, die in der Charta der Vereinten Nationen niedergelegten Ziele und Grundsätze fördern wird, sind wie folgt übereingekommen: [es folgen die Festlegungen des Antarktisvertrags]

M2 Präambel des Antarktisvertrags (1959)



M3 Beziehungsgeflecht der Forschung: Herkunftsländer von internationalen Gemeinschaftsaufsätzen zur Antarktis 1998 – 2015 (Verbindung ab 100 Aufsätzen)

Artikel 1 Die Antarktis darf nur zu friedlichen Zwecken genutzt werden.

Artikel 2 Die wissenschaftliche Untersuchung und Kooperation soll uneingeschränkt entwickelt werden.

Artikel 3 Der freie Austausch von Informationen und Personal in Kooperation mit den UN und anderen internationalen Organisationen ist zu gewährleisten.

Artikel 4 Territoriale Ansprüche in der Antarktis werden zurückgestellt. Für die Dauer des Vertrags dürfen keine neuen Ansprüche angemeldet werden.

Artikel 5 Jegliche Kernwaffentests sind verboten.

Artikel 6 Der Vertrag betrifft alle Land- und Eisflächen südlich des 60. Breitengrades.

Artikel 7 Beobachter aus allen Vertragsstaaten haben freien Zugang, einschließlich Luftbeobachtung, zu allen Gebieten und Einrichtungen.

Artikel 8 Die Beobachter und Wissenschaftler unterliegen der Rechtsprechung ihrer jeweiligen Staaten.

Artikel 9 Regelmäßige Konsultationstreffen zwischen den Vertragsstaaten sollen stattfinden.

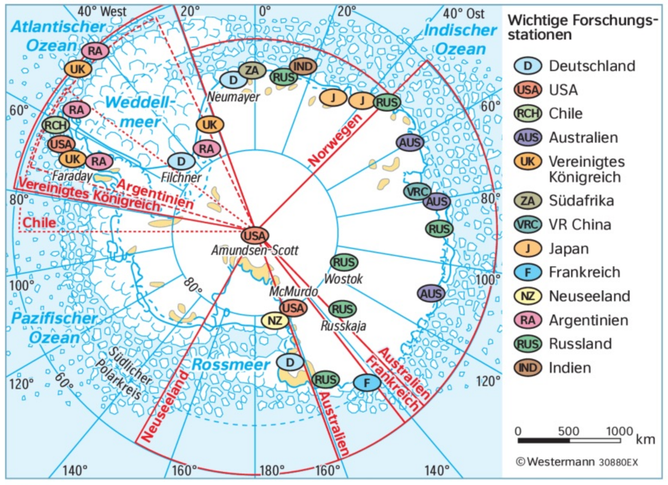
Artikel 10 Alle dem Vertrag widersprechenden Aktivitäten in der Antarktis sind zu unterbinden.

Artikel 11 Ein möglicher Streit ist von allen betroffenen Parteien friedlich auszutragen und notfalls vom Internationalen Gerichtshof zu entscheiden.

Artikel 8 – 14 Weitere Regelungen zu Interpretation und Ergänzung hinsichtlich des Vertrags

Zusatzübereinkommen: Übereinkommen zur Erhaltung der antarktischen Robben (CCAS), Ressourcenübereinkommen (CRAMA), Walfangabkommen (IWC), Übereinkommen über die Erhaltung der lebenden Meeresschätze (CCAMLR), Umweltschutzprotokoll (USP)

M4 Der Antarktisvertrag



M5 Territoriale Ansprüche in der Antarktis

M1 Russischer Eisbrecher, der ein Handelsschiff eskortiert

M2 Ekati-Diamantenmine (Kanada)

Wettrennen um Macht und Rohstoffe – politische und wirtschaftliche Ansprüche in der Arktis

„Welcome to Salla, the coldest place in Finland. We want to host the Games here, the 2032 Summer Games." So macht das nordfinnische Salla in einem selbstironischen Video auf den rezenten Klimawandel aufmerksam. Die Olympischen Sommerspiele werden zwar auch in Zukunft nicht am Rande des borealen Nadelwalds stattfinden, aber der Rückgang der Eis- und Schneebedeckung wird zur Änderung der bisherigen Nutzung des arktischen Raumes führen. Hierfür weiten die beteiligten Nationen bereits ihren Zugriff auf die Arktis aus.

Tradition der Zusammenarbeit

Die Anrainerstaaten der Arktis – Dänemark (für Grönland), Finnland, Island, Kanada, Norwegen, Russland und die USA – verbindet eine lange friedliche Nutzung der polaren Gebiete, die in verschiedenen Abkommen zu Umwelt, Fischerei und Seenotrettung und schließlich 1991 in der Gründung des Arktischen Rates gipfelte. Angesichts der peripheren Lage und der Eisbedeckung großer Gebiete, der Blockade von Schifffahrtswegen durch Packeis und der insgesamt geringen Nutzungsmöglichkeiten des Raumes bestand ein Wille zur Verständigung. Dies führte sogar zu Einigungen wie dem Spitzbergenvertrag, in dem die Inselgruppe Norwegen zugesprochen wird, wirtschaftliche Tätigkeiten sowie die Nutzung seiner Rohstoffe aber allen Vertragsstaaten gestattet werden. In der Arktis wurden trotz der territorialen Ansprüche der Anrainerstaaten die maritimen Grenzen nicht immer genau definiert, da sie für die einzelnen Staaten wirtschaftlich irrelevant waren und auch nicht kontrolliert werden konnten.

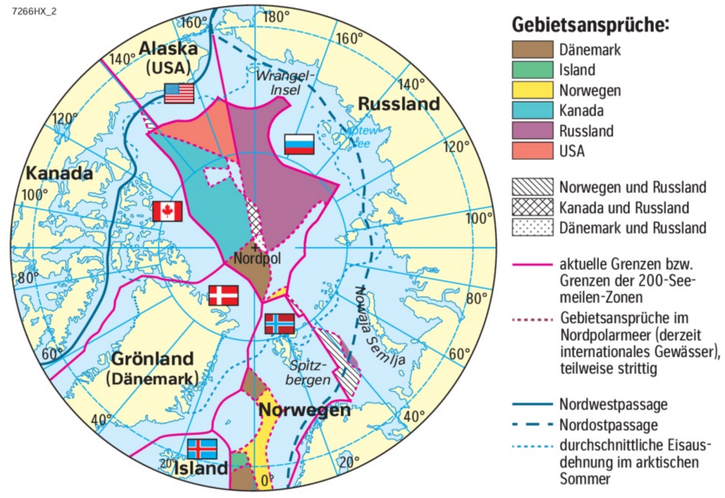
Rohstoffreichtum

Im Zuge des rezenten Klimawandels und dem mit ihm verbundenen Rückzug von Inland- und Meereis können die Rohstoffvorkommen in der Arktis leichter erschlossen und abgebaut werden. Große Vorkommen an Blei, Diamanten, Eisenerzen, Gold, Kobalt, Kupfer, Nickel, Seltenen Erden und Uran sind jetzt schon bekannt und werden zum Teil bereits gefördert, mit weiteren Funden wird gerechnet. So sollen zum Beispiel etwa 30 Prozent der weltweiten Erdgasreserven und 15 Prozent der Erdölreserven in der Arktis liegen. Allein im russischen Teil erhofft man eine Fördermenge im Wert von 30 Billionen US-Dollar.

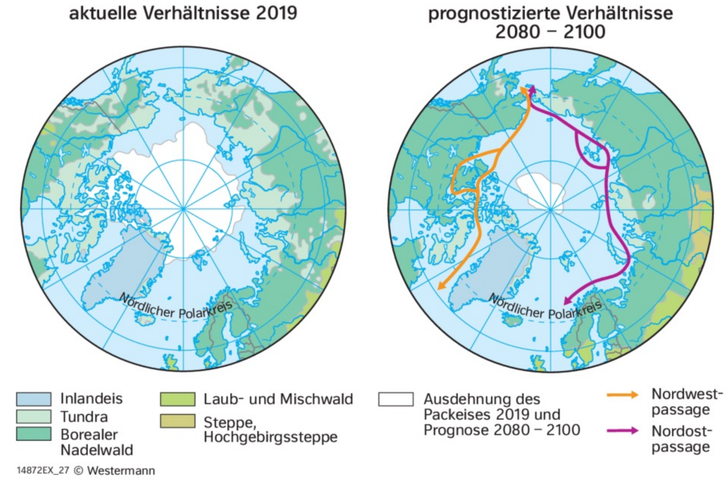
Neue Möglichkeiten und neue Grenzen

Der Großteil der Rohstoffvorkommen liegt im Bereich des Festlands oder innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone eines Staates, die bis zu 200 Seemeilen (370 km) vor die Küste reicht, auf einem Vorsprung des Kontinentalsockels sogar noch weiter. Innerhalb dieser Wirtschaftszone besitzt der jeweilige Staat die alleinigen Nutzungsrechte an Fischvorkommen und Bodenschätzen. Es liegt deswegen im Interesse der Anrainerstaaten, ihre Meeresgrenzen jetzt klar zu definieren, wodurch internationale Konfliktpunkte entstehen. So gehen zum Beispiel sowohl Dänemark als auch Russland davon aus, dass durch untermeerische Fortsetzungen des Festlandsockels der Nordpol und seine Umgebung zu ihrer Wirtschaftszone gehören, und Norwegen bezieht das Spitzbergenabkommen nur auf das Land- und nicht auf das Seegebiet. Die jeweils anderen Staaten lehnen diese Sichtweisen ab. Es gibt aber auch Einigungen. So haben Kanada und Dänemark eine gemeinsame Grenze auf der umstrittenen Hans-Insel vor Grönland festgelegt. Vor allem Kanada will hier klare Verhältnisse, da die zunehmende Klimaerwärmung die saisonale Schiffbarkeit der Nordwestpassage bringen wird. Von den begleitenden Logistik- und Sicherheitsdienstleistungen erwartet sich Kanada einen wirtschaftlichen Aufschwung seiner arktischen Gebiete. Die USA betrachten die Nordwestpassage allerdings als Seeweg in internationalen Gewässern und unterstreichen dies auch durch die Präsenz ihrer Marine. Norwegen, Kanada und Russland, das auf die Nordostpassage setzt, bauen ebenfalls ihre militärische Präsenz in der Arktis aus. Und sogar die Volksrepublik China bezeichnet sich seit 2018 offiziell als „Nahanrainer der Arktis" und schickt Eisbrecher, die Chinas Anspruch bei einer weiteren Erschließung der Arktis demonstrieren.

M3 U-Boot „Mir-1", das 2007 den russischen Anspruch auf den Nordpol markiert



E↑ M4 Territoriale Ansprüche in der Arktis



E↑ M5 Gegenwärtige und zukünftige Nutzung der Nordost- und der Nordwestpassage

Route	Panama-kanal	Nordwest-passage	Nordost-passage	Suezkanal & Malakka-Straße
Marseilles – Yokohama	24 030	16 720	17 950	17 800
Rotterdam – Singapur	28 994	19 900	19 640	15 750
Rotterdam – Shanghai	25 588	17 570	15 790	19 550
Hamburg – Seattle	17 110	15 270	13 460	29 780
Rotterdam – Vancouver	16 350	14 330	13 450	28 400
Rotterdam – Los Angeles	14 490	15 790	15 250	29 750
New York – Shanghai	20 880	17 030	19 890	22 930

E↑ M6 Entfernung (in km) zwischen Häfen über verschiedene Routen

AUFGABEN

1 a) Benennen Sie anhand der Bilder die Herausforderungen der Erschließung des arktischen Raums (M1, M2, ▸ S. 220).
b) Zeigen Sie auf, welch große Bedeutung man dieser Erschließung zumisst (M1 – M3, Atlas).

E↑ 2 Erklären Sie die Grundlagen der jeweiligen nationalen Gebietsansprüche in der Arktis (M4, Internet).

E↑ 3 Verorten Sie die in M6 angegebenen Start- und Zielhäfen. Legen Sie anschließend Gründe dafür dar, warum nicht immer die kürzeste Route befahren werden wird (Atlas).

E↑ 4 Diskutieren Sie, welche Vor- und welche Nachteile eine zukünftige stärkere Nutzung der NW- und der NO-Passage mit sich bringen wird (M5, M6).

M1 Kreuzfahrtschiff beim Aussetzen von Schlauchbooten

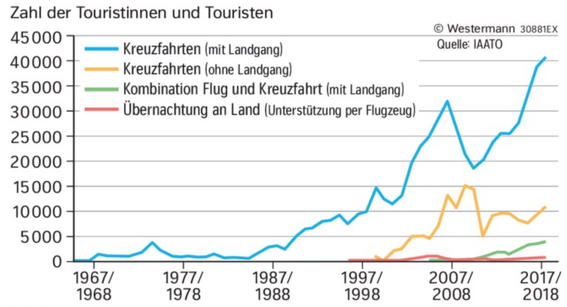
M2 Touristinnen und Touristen am Antarktisflughafen der chilenischen Frei-Station (Isla Rey Jorge)

Ist die Antarktis nachhaltig nutzbar? – Aktuelle Entwicklungsperspektiven

Eine Flugreise zum Südpol und dort eine Nacht im Zelt campieren? Kein Problem, wenn man die 65 000 US-Dollar hat, die ein Reiseanbieter für eine einwöchige Antarktisreise verlangt. Prägt solcher Tourismus die künftige Antarktis, ergänzt um den Fischfang in ihren Gewässern? Wie sieht die Zukunft der Antarktis aus?

Im Jahr 2022/23 besuchten rund 106 000 Touristinnen und Touristen die Antarktis, von denen etwa 70 000 die Küste bei kurzen Exkursionen betraten. In das Kontinentinnere reisten nur etwa 800 für Camping, Bergsteigen, Skifahren, Langstreckenlauf – oder einfach zum Autofahren. Knapp 90 Schiffe unternahmen 550 Fahrten, dazu kamen nicht gezählte Flüge. Die hauptsächlich aus den USA, China und Australien stammenden Touristinnen und Touristen sind dabei auf der Suche nach exklusiven Reiseerlebnissen oder nach unberührter Natur.

Doch gerade diese Natur wird durch ihre Reise geschädigt: Bei der weltweiten Anreise entstehen hohe Emissionen des Luftverkehrs, die Rußpartikel der Schiffe senken die Albedo des Eises und bei Landgängen werden Flora und Fauna der Antarktis schnell beeinträchtigt. Unter den extremen Lebensbedingungen kann zum Beispiel schon ein einmaliges Auftreten auf eine Pflanze diese absterben lassen oder ein Aufscheuchen eines Pinguinkükens führt zum Aufbrauchen seiner letzten Energiereserven. Die Hinterlassenschaften der Reisenden, Müll oder Exkremente, verrotten nur extrem langsam. Unter diesen Bedingungen verkraften Flora und Fauna der Antarktis nur eine sehr begrenzte Zahl an Besucherinnen und Besuchern. Auch die Tourismusindustrie hat dies erkannt und befolgt Ökostandards für Reisen im arktischen Raum sowie Richtlinien für das Verhalten an Land (M4). Wichtig sind für den Erhalt der Natur auch Schutzgebiete, die sowohl an Land als auch im Meer ausgewiesen wurden.



M3 Entwicklung des Antarktistourismus

AUFGABEN

1. Zeigen Sie, welche Beweggründe zum Tourismus in der Antarktis führen (M1, M2, ▸ S. 90 unten).
2. Beschreiben Sie die Entwicklung des Tourismus in der Antarktis und erklären Sie seine Veränderungen (M3).
3. Begründen Sie die Betretungsvorschriften von Astrolabe Island und bewerten Sie anschließend die auf ▸ S. 90 unten gezeigte Situation (M4).

E↑ 4. Erstellen Sie in Partnerarbeit einen kurzen Film, in welchem Sie einen der „8 guten Gründe für das Meeresschutzgebiet Weddellmeer“ erläutern (M5).

5. Diskutieren Sie im Kurs, ob Tourismus und Fischfang in der Antarktis vollständig gestoppt werden sollten.

Landing Area: Primary landing site contains chinstrap penguin colony. Antarctic fur seals are likely to be present in late season making landing difficult. Secondary landing site: Extreme caution should be taken on very slippery rocks.

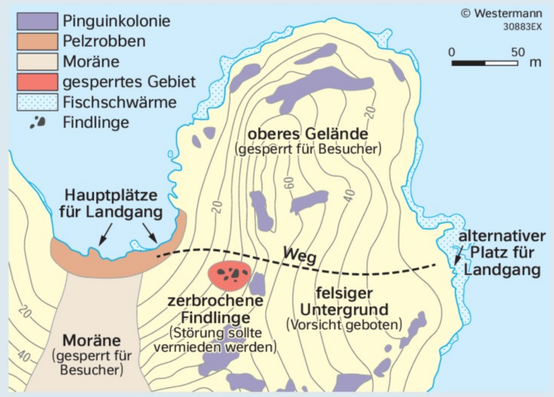
Closed Area: Small area of fractured boulders on the walk from primary landing site to the penguin colony.

Guided Walking Area: Short walk from the beach up the rocks to chinstrap penguin colony, avoiding the closed area. Only 50 at a time on the walk, which should be marked and closely guided. Do not walk up into the scree slopes where birds are nesting.

Free Roaming Area: Visitors are free to roam on the upper shore of the long stony landing beach.

Behavior Ashore
- Be careful near Antarctic fur seals, they may be aggressive.
- Walk slowly and carefully. Maintain a precautionary distance of 5 metres from wildlife and give animals the right-of-way. Increase this distance if any change in behaviour is observed.
- Stay clear of – and do not venture on – slopes where chinstrap penguins are nesting.

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255



M4 Betretungsvorschriften von Astrolabe Island

„25 Mitgliedstaaten sowie die EU bestimmen in einer ‚Kommission zur Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis‘ die Fischereiregelungen in den antarktischen Gewässern. Aber auch Schutzgebiete werden ausgewiesen, wie z. B. im Rossmeer, das mit 1,55 Mio. km² größte Meeresschutzgebiet der Welt. Deutschland setzt sich stark dafür ein, dass auch das Weddellmeer geschützt wird, doch stimmten zuletzt 2022 China und Russland dagegen, um den Fang von Krill für Fischfutter zu ermöglichen. Auf seiner Homepage benennt das Alfred-Wegener-Institut ‚8 gute Gründe für ein Meeresschutzgebiet Weddellmeer‘:

1. Die Unberührtheit des Weddellmeeres erhalten
Seit der Entdeckung des Weddellmeeres im Jahr 1823 hat es in dieser Meeresregion nie kommerzielle Fischerei gegeben. Es ist damit eine der letzten, fast unberührten Regionen der Antarktis, in der das natürliche Gleichgewicht bisher kaum von menschlichen Aktivitäten beeinflusst wurde.

2. Das Meereis als Nahrungsquelle
In und unter dem Eis wachsen Eisalgen und Bakterien, welche von Krill, Schwebegarnelen, Flohkrebsen und anderen Kleinstlebewesen abgeweidet werden. An diesem Zooplankton wiederum laben sich nicht nur die meisten Fische, Pinguine, Robben und Wale. Seine Überreste rieseln auch zum Meeresboden herab und versorgen dessen einzigartige Lebensgemeinschaften mit Nährstoffen.

3. Die Uhren des Lebens gehen hier langsamer
Extremer als im Weddellmeer können die Lebensbedingungen für Meerestiere kaum sein. Seine Bewohner müssen jederzeit Energie sparen und haben dafür einmalige Techniken entwickelt. Eisfische zum Beispiel bilden Frostschutz-Proteine, welche ein Gefrieren ihres Blutes verhindern. Zum anderen wachsen die meisten von ihnen nur sehr langsam und werden erst in einem Alter von drei bis neun Jahren geschlechtsreif.

4. Eine Artenvielfalt wie im tropischen Korallenriff
Auf dem Grund des Weddellmeeres leben rund 14 000 Tierarten in ganz unterschiedlichen Lebensgemeinschaften. Die Biomasse in Hotspots am Meeresboden erreicht oftmals Weltrekordniveau.

5. Ein Rückzugsort für kälteliebende Arten
Aufgrund der Eisbedeckung und der Ozeanströmungen wird das Weddellmeer voraussichtlich eine jener Regionen des Südpolarmeeres sein, in welcher die Folgen des Klimawandels erst spät zu spüren sein werden. Bis dahin kann dieses Gebiet als Rückzugsort für antarktische Tierarten dienen.

6. Die Heimat der Kaiserpinguine und Sturmvögel
In der Nähe seiner Küsten brüten in jedem Sommer mehr als 300 000 Paare des Antarktischen Sturmvogels. Diese Zahl entspricht mehr als der Hälfte des Gesamtbestandes dieser imposanten Vogelart. Auf dem Meereis erblickt derweil ein Drittel aller Kaiserpinguine das Licht der Welt.

7. Die Speisekammer der Meeressäuger
Wissenschaftler haben bisher sechs Robbenarten und zwölf Walarten dokumentiert. Sie alle ernähren sich vor allem von Krill und Antarktischem Silberfisch.

8. Eine Fischart, viele Jäger
90 Prozent der pelagischen [im offenen Meer lebenden] Fische im Weddellmeer gehören einer einzigen Art an: dem Antarktischen Silberfisch *Pleuragramma antarctica*. Die heringsähnlichen Tiere leben in losen Schwärmen in bis zu 600 Metern Wassertiefe, sind Nahrungsgrundlage für viele Vögel und Meeressäuger und haben im Weddellmeer einen ihrer wichtigsten Laichgründe.“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

E↑ M5 Lokales Meeresschutzgebiet Weddellmeer?

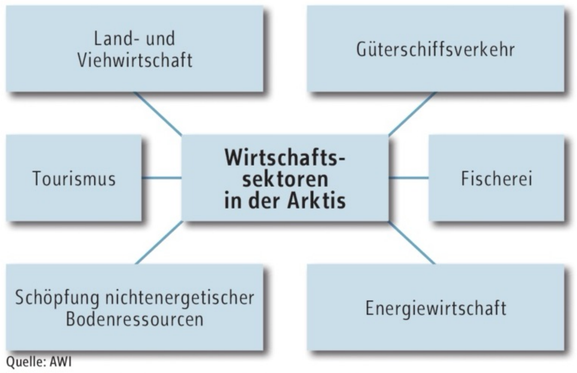
Die Polare und Subpolare Zone

AUFGABEN

Arbeitszeit: 60 Minuten

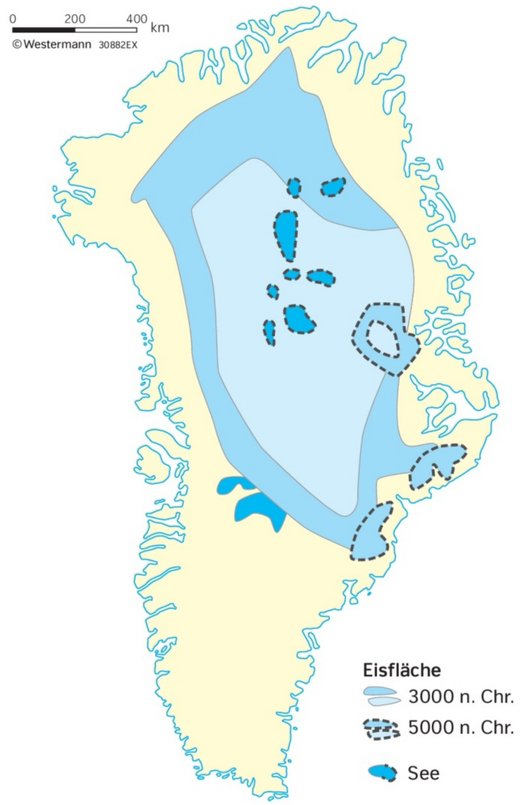
1. Begründen Sie die räumliche Verbreitung von polarer Kältewüste und subpolarer Tundra auf der Erde (Atlas, M1).
2. Ein Szenario des rezenten Klimawandels rechnet mit einer unverminderten Zunahme der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre. Dadurch werden sich in Grönland die Temperaturen voraussichtlich um 8 °C gegenüber dem vorindustriellen Mittelwert erhöhen.
   a) Benennen und erklären Sie drei naturräumliche Veränderungen, die Grönland und seine umgebenden Gewässer gemäß diesem Szenario langfristig erfahren werden (M3, M4).
   b) Erläutern Sie ausgehend von M2 am Beispiel von Grönland vier neue Nutzungsmöglichkeiten der Polaren und der Subpolaren Zone, die sich aus dem rezenten Klimawandel ergeben.
3. Erörtern Sie mithilfe der Materialien M5 – M7 kritisch mit je vier eigenständigen Argumenten die Vor- und Nachteile einer Antarktiskreuzfahrt. Ziehen Sie anschließend ein begründetes Fazit.
   Hinweis: Die Argumente sollen über den rein persönlichen Bereich einer Reise in der Antarktis (z.B. „Viele werden seekrank und es ist unangenehm kalt.“) hinausgehen.

M1 Fußballspiel in Reykjavik (Island) am 06.08.2003, Mitternacht

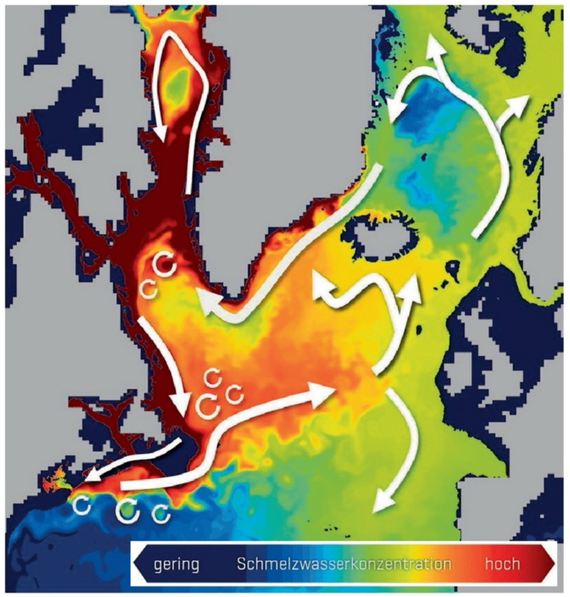


Quelle: AWI

M2 Die wichtigsten Wirtschaftssektoren in den arktischen Ländern (2019)



M3 Rückgang des grönländischen Eisschilds bei einem langfristigen Temperaturanstieg von 8 °C (Prognose)



M4 Schmelzwasserkonzentration und Ausbreitung grönländischen Schmelzwassers bis 200 m Meerestiefe

„Magische Landschaften“, „das große Unbekannte“, „die letzte unberührte Natur“. Das sind nur einige Schlagworte, mit denen Reiseveranstalter für eine Kreuzfahrt in die Antarktis werben. Eine Kreuzfahrt, die nicht jeden Geldbeutel anspricht. Abhängig vom Schiff, Art der Kabine, der Reisedauer und der Anzahl an Ausflügen fallen bei einem bekannten Kreuzfahrtunternehmen zwischen rund 13 500 Euro und 29 000 Euro pro Person an – ohne An- und Abreise! Um nach Ushuaia auf Feuerland zu gelangen, wo die meisten Antarktis-Kreuzfahrten starten, benötigen Reisende aus Deutschland ca. 20 Stunden reine Flugzeit, mit Umstieg in Madrid und Buenos Aires.
Doch nach den Strapazen der Anreise versprechen die Reiseveranstalter ein einmaliges Erlebnis. Die Ausflüge an Land finden mit kleinen Schlauchbooten, sogenannten Zodiacs statt. Es gebe beste Chancen, dann verschiedene Pinguinarten zu beobachten. Und mit Glück seien auf der Reise auch Wale, Robben, Seebären und zahlreiche Seevögel zu sehen. Garantiert wird das alles freilich nicht. Zu unberechenbar ist die Tierwelt und auch zu streng sind manche Vorschriften.
All das hält die Touristinnen und Touristen nicht ab. Einmal in die Terra australis incognita zu reisen, die gewaltigen Gletscher und Eisberge zu sehen und die heimische Tierwelt zu bestaunen, ist für immer mehr Menschen ein Traum, den sie sich erfüllen. Waren es laut Umweltbundesamt in der Saison 1992/1993 lediglich 6700 Personen, die zum sechsten Kontinent reisten, betrug die Zahl in der Saison 2022/23 fast 106 000. Der Nutzungskonflikt zwischen Mensch und Natur wird weiter zunehmen.

M5 Kreuzfahrten in die Antarktis

Das Antarktis-Kreuzfahrtschiff Clelia II wurde 2010 während eines Sturms von einer Monsterwelle getroffen, die die Brücke z.T. zerstörte, sodass Schiffselektronik und ein Motor ausfielen. Eine Person wurde verletzt.

M6 Gefahren im Südpolarmeer

„Für den Experten zum Thema Schiffssicherheit ist klar, dass Kreuzfahrten in die Polargebiete ein erhöhtes Risiko aufweisen. Das liege an verschiedenen besonderen Aspekten, die diese von anderen Kreuzfahrten unterscheiden.

Ein Faktor sind die klimatischen Bedingungen, so Sedlacek, die vorherrschenden Wasser- und Lufttemperaturen genauso wie das Eis im Wasser und extreme Wetterbedingungen können Sicherheitsrisiken darstellen. Wenn eine Person über Bord gehe, sei die Überlebenswahrscheinlichkeit in polaren Regionen zum Beispiel schon nach wenigen Minuten nur noch sehr gering.

Auch eine Evakuierung bei Notfällen an Bord, wie zum Beispiel einem Feuer, gestalte sich durch die extremen Wetterbedingungen meistens sehr schwierig. Diese Risiken versuche man durch neue Technologien und spezielle Ausrüstung der Schiffe zu minimieren – aber ein Restrisiko bleibe immer, erklärt der Experte.

Darüber hinaus erhalte die Besatzung eines Kreuzfahrtschiffes spezielle Schulungen für die besonderen Ansprüche einer Antarktisfahrt, diese […] umfassen Thematiken wie das Navigieren in Polarregionen, das Fahren im Eis, die Vorbereitung auf Notfallsituationen sowie die Vermeidung von Umweltverschmutzungen, erläutert Sedlacek. Der Großteil dieser Schulungen sei jedoch theoretisch, das Navigieren und Fahren im Eis werde im Simulator trainiert.

Auch die ‚Verfügbarkeit möglicher Fremdhilfen‘, zum Beispiel einer Rettungscrew, könnte in entlegenen Polargebieten durch die großen Entfernungen zum nächsten Hafen zu einem Problem werden, trotzdem seien Antarktis-Kreuzfahrten laut Sedlacek nicht generell als gefährlich zu betrachten.“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 255/256

M7 Interview mit Dirk Sedlacek (Institut für Sicherheitstechnik/Schiffssicherheit e.V., Warnemünde)

Flächenkonkurrenz im Knoblauchsland bei Nürnberg

Zum Teil bewässerte Weinberge und Olivenhaine auf Kreta, Griechenland

4

Mittlere Breiten und Subtropen

Ressourcenkonflikte und Ressourcenmanagement

In diesem Kapitel erfahren Sie, ...

... welches Klima in den Mittleren Breiten und in den Subtropen herrscht und wodurch es geprägt wird (▸ S. 119 – 125).

... wie viel Wasser in den Subtropen verfügbar ist und welche Probleme dadurch vor allem in Bezug auf die Landwirtschaft entstehen (▸ S. 126 – 135).

... wie es um die Versorgung Deutschlands mit Wasser und dessen Schutz bestellt ist (▸ S. 136 – 137).

... welche Ursachen und Folgen Hochwasserereignisse in Deutschland haben und welche Maßnahmen es im Rahmen des Risikomanagements gibt (▸ S. 138 – 141).

... wie der Wald in den Mittleren Breiten und Subtropen genutzt wird und welchen Herausforderungen er infolge des rezenten Klimawandels gegenübersteht (▸ S. 142 – 145).

... inwieweit Flächen im Fokus konkurrierender Interessen zwischen Nutzung und Schutz stehen (▸ S. 146 – 147).

... wie Boden in unserem Heimatraum aufgebaut ist, welches Nutzungspotenzial er hat, inwieweit er gefährdet ist und geschützt werden kann (▸ S. 148 – 149).

... welche Rolle der Landwirtschaft im Klimaschutz zuteil wird (▸ S. 150 – 151).

Der weitaus größte Teil Europas liegt Einflussbereich von gemäßigtem und subtropischem Klima. Aufgrund der naturräumlichen Gunstfaktoren sind diese Regionen dicht besiedelt, weswegen der Naturraum stark beansprucht wird und es zur Konkurrenz um Flächen kommt. Um eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen zu gewährleisten, muss der Umgang mit Wasser, Wald, Boden und Fläche sinnvoll gemanagt werden.

M 1 Laubmischwald in Deutschland

M 2 Steppenlandschaft in Kasachstan

Klima und Vegetation der Mittleren Breiten

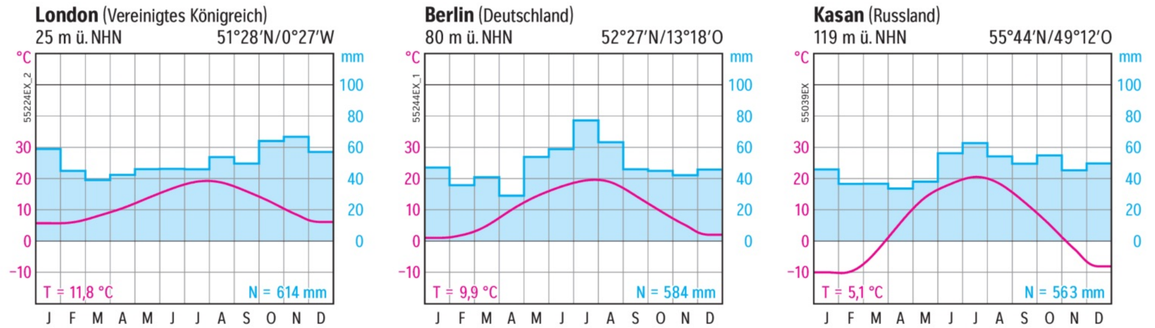
Das gemäßigte Klima der Mittleren Breiten, die sich in etwa vom 40. bis zum 60. Breitengrad erstrecken, weist hinsichtlich der Wetterelemente im Vergleich zu den Tropen und Polargebieten meist eine durchschnittliche Ausprägung auf. Wetterextreme oder dadurch verursachte Katastrophen gibt es verhältnismäßig selten. Doch wie ist das Klima in dieser Zone genau gekennzeichnet?

Die Mittleren Breiten liegen zwischen der Subtropischen und der Kalten Zone, weisen ein ausgeprägtes Jahreszeitenklima auf und werden meteorologisch überwiegend durch die Lage in der Westwindzone bestimmt. In Europa verursacht diese häufig wechselnde Wetterlagen (▸S. 26/27, S. 120/121). Manche Klimaklassifikationen unterteilen die Mittelbreiten in die nördlicher liegenden Regionen mit kaltgemäßigtem, borealem Klima und in die sich südlich anschließende kühlgemäßigte Zone, in der eine Jahresmitteltemperatur zwischen 0 und 12 °C herrscht. Andere Klassifikationen wiederum zählen die Boreale Zone zur Kalten Zone der Hohen Breiten (▸S. 93: M5). Sowohl Nordamerika als auch Eurasien zeigen einen markanten klimatischen Gegensatz zwischen der West- und der Ostseite der Kontinente. Das Klima reicht von ganzjährig humiden, maritim geprägten Regionen (**Feuchte Mittelbreiten**, Temperaturamplitude < 10 °C) bis zu einem ariden, kontinentalen Klima (**Trockene Mittelbreiten**) mit einer hohen Jahrestemperaturamplitude über 20 °C (M4, M5). Dazwischen befindet sich ein **Übergangsklima**. Dieser West-Ost-Wandel ergibt sich durch den abnehmenden Einfluss des Meeres sowie durch das Relief bzw. die Ausrichtung der langen Gebirgszüge (▸S. 164/165).

AUFGABEN

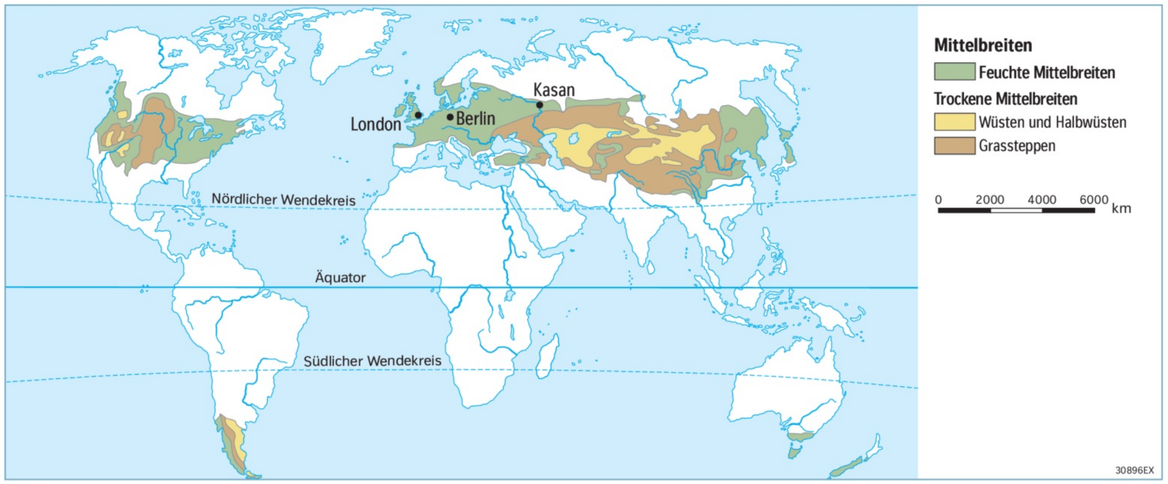
1. Beschreiben und begründen Sie die unterschiedlichen Ausprägungen der Vegetation in der gemäßigten Zone (M1 – M3).
2. Verorten Sie die Mittleren Breiten klimatisch differenziert und begründen Sie, warum diese auf der Südhalbkugel kaum eine Rolle spielen (M5, Atlas).
3. Verorten Sie London, Berlin und Kasan im Gradnetz und begründen Sie die klimatischen Veränderungen in Richtung Osten (Atlas, M4).
4. Begründen Sie das für die Mittleren Breiten typisch wechselhafte Wetter mithilfe Ihrer Kenntnisse über die atmosphärische Zirkulation (▸S. 26/27).
5. E↑ Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Lage der Gebirge in Nordamerika sowie Europa und deren Auswirkung auf die Ausprägung des gemäßigten Klimas (Atlas, ▸Karte vorderer Einband).
6. Erarbeiten Sie ein Wirkungsgefüge zu den Mittleren Breiten, in dem der Zusammenhang zwischen Klima und Vegetation deutlich wird (▸S. 225).

M 3 Borealer Nadelwald in Finnland

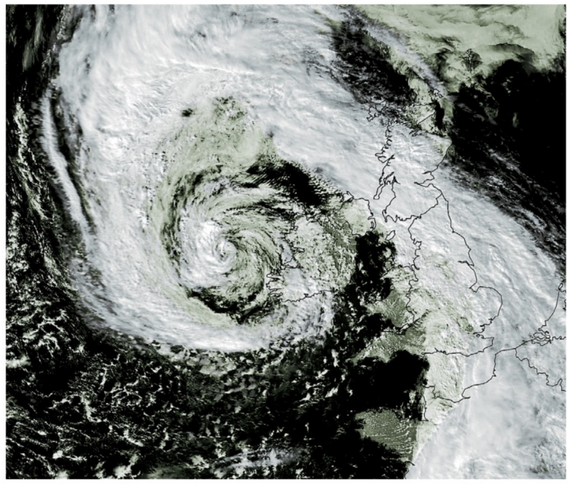


M 4 Klimadiagramme aus den europäischen Mittelbreiten

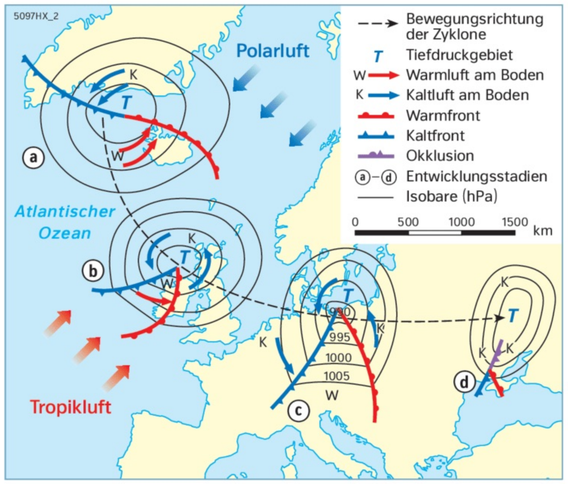
Einen weiteren Einfluss auf die Ausprägung der gemäßigten Zone nehmen Meeresströmungen. Von besonders großer Bedeutung ist hier der Nordatlantikstrom (▸S. 34/35): Durch dessen permanenten Wärmetransport bis in die Hohen Breiten entsteht eine deutliche Ausbuchtung der gemäßigten Zone nach Norden. Kalte Meeresströmungen, zum Beispiel vor Japan oder dem Nordosten Kanadas, verursachen hingegen eine Ausdehnung der Zone nach Süden.
Aufgrund der eher widrigen klimatischen Bedingungen (geringe Durchschnittstemperaturen, Sonneneinstrahlung und Niederschläge) sowie der nährstoffarmen Böden wie zum Beispiel **Podsole** sind in der kaltgemäßigten Zone überwiegend immergrüne boreale Nadelwälder (M3) zu finden, während in den humideren Regionen der kühlgemäßigten Zone bei durchschnittlichen Jahresniederschlagssummen von über 600 mm sommergrüne Laub- und Mischwälder (M1) angesiedelt sind, in denen in Europa zum Beispiel die Buche dominiert. In den kontinentaleren Lagen und auf der Leeseite von Gebirgen mit geringeren Niederschlagssummen sowie extremeren Temperaturen sind Grassteppen (M2) – in Nordamerika als Prärie, in Südamerika als Pampa bezeichnet – und zum Teil sogar Halbwüsten sowie Wüsten entstanden. Zu den günstigen klimatischen Bedingungen mit ganzjährig ausreichenden Niederschlägen sowie einer langen Vegetationszeit in den Feuchten Mittelbreiten kommen fruchtbare Böden (z. B. Braunerde, ▸S. 149: M4), wodurch weite Teile der kühlgemäßigten Zone ein hervorragend geeigneter Lebens- und Wirtschaftsraum sind und zu den landwirtschaftlich produktivsten Regionen der Erde gehören. Auch viele Böden in den Trockenen Mittelbreiten sind aufgrund eines hohen Humusanteils (z. B. Schwarzerde) oder des Lössanteils fruchtbar. Durch die globale Erwärmung und die damit einhergehende Verschiebung der Klimazonen werden die Mittelbreiten in Zukunft vermehrt in Umweltstress geraten, da Ereignisse wie Waldbrände, Dürren und Überschwemmungen zunehmen werden.



M 5 Verbreitung der Feuchten und der Trockenen Mittelbreiten



M1 Zyklone vor Großbritannien (▸ S. 221: M4)



M2 Bewegung und Entwicklung einer Zyklone

E↑ Das Wettergeschehen in den Mittleren Breiten

Die gemäßigte Zone der Mittleren Breiten ist die Klimazone, in der wir leben. Durch ihre Lage zwischen den heißen Tropen und der kalten Polaren und Subpolaren Zone spielt sie für den globalen Energieaustausch eine enorm wichtige Rolle. Welche Folgen ergeben sich daraus?

Da in dem durch die Westwinde beeinflussten Mitteleuropa Luftmassen unterschiedlicher Herkunft verwirbelt werden, herrscht oft wechselhaftes und regenreiches Wetter. Dabei dominieren zwei typische Wetterlagen, die eng mit dem Jetstream verknüpft sind (▸ S. 25).

AUFGABEN

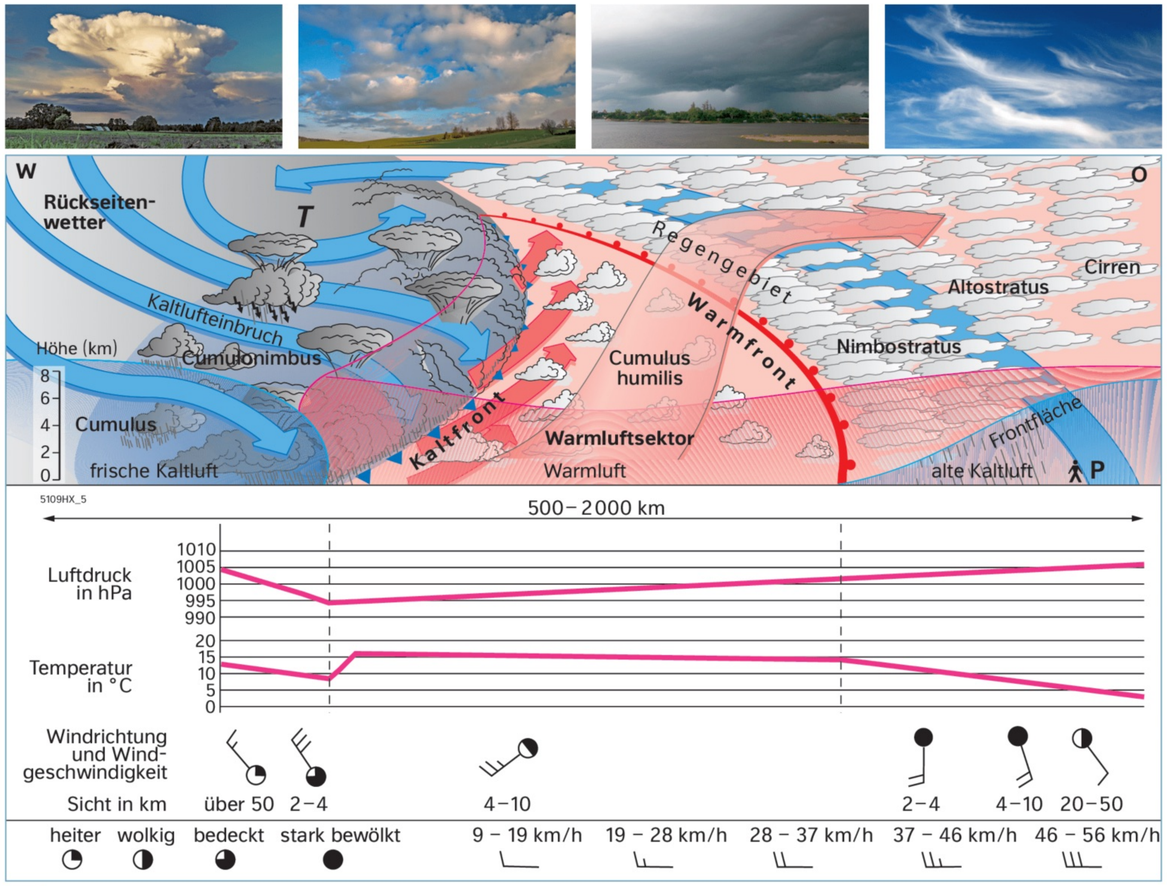
1. Erläutern Sie den Lebenslauf (Geburt, Entwicklung, Alterung, Tod) einer Zyklone (M1–M3).
2. Beschreiben Sie, wie ein Beobachter in Punkt P das nachfolgende Wettergeschehen erlebt (M3). Berücksichtigen Sie dabei Temperaturverlauf, Bewölkung, Wind und Niederschlag.
3. Erklären Sie, warum es bei Hochdruckwetterlagen im Sommer sehr heiß und im Winter besonders kalt ist.
4. Vergleichen Sie zyklonales und antizyklonales Wettergeschehen.
5. Erstellen Sie über einen bestimmten Zeitraum hinweg, zum Beispiel eine Woche lang, ein Protokoll über die Wetterentwicklung in Mitteleuropa (Internet, Tageszeitung) und charakterisieren Sie diese.

Das zyklonale Wettergeschehen

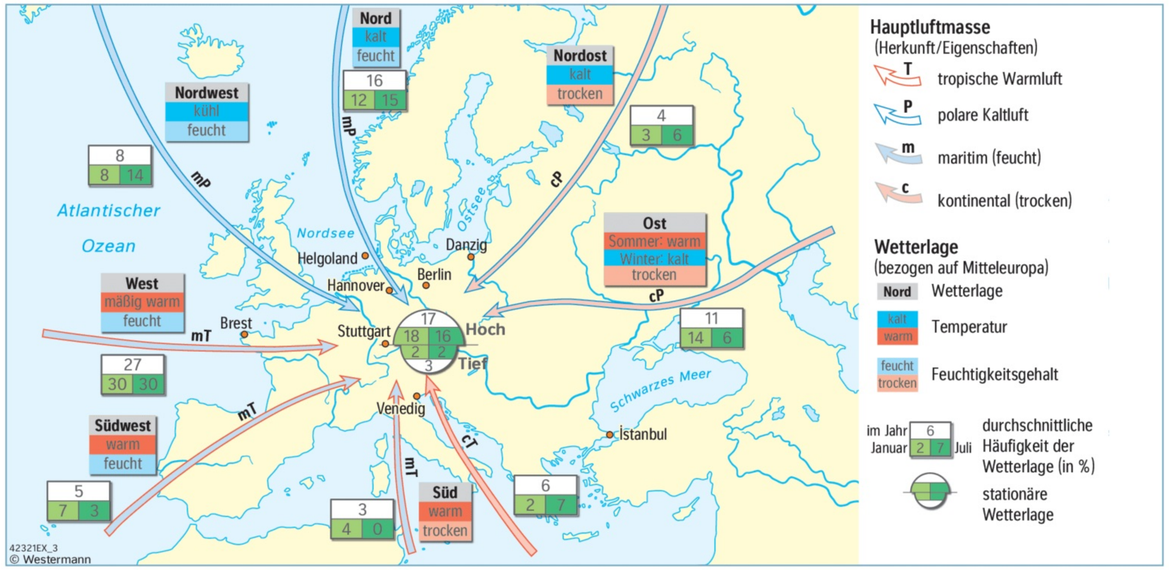
Die Druck-Saug-Pumpe des Polarfront-Jetstreams erzeugt in der „Zyklonenküche" des Nordatlantiks zwischen Neufundland und Island fortwährend dynamische Tiefdruckgebiete – die nicht mit thermischen Druckgebieten verwechselt werden dürfen –, sogar ganze Zyklonenfamilien. Sie driften mit der Westwindströmung ostwärts, überqueren Europa auf unterschiedlichen Bahnen und verwirbeln subtropische Warmluft und subpolare Kaltluft (M2). Dabei wird an der Warmfront die leichtere Warmluft über die schwerere Kaltluft gehoben, es entwickelt sich eine Aufgleitbewölkung (M3).
Weit vor dem Eintreffen der Warmfront am Boden bilden sich in der Höhe Schleierwolken (**Cirrus**), die sich zu dünnen Schichtwolken (**Altostratus**), später zu immer mächtigeren und tiefer liegenden Schichtwolken (**Nimbostratus**) verdichten. Aus ihnen fällt zunächst feiner Nieselregen, der rasch in großflächigen Regen mit relativ kleinen Tropfen übergeht. Bleibt die Kaltluft ortsfest, kann dieser sogenannte Landregen oft tagelang andauern.
Nach dem Durchzug der **Warmfront** (Aufgleitfront) gibt es im nachfolgenden Warmluftsektor kaum noch Kondensationsprozesse. Je nach Feuchte und Temperatur der Warmluft verdunsten die Schichtwolken oder bleiben noch einige Zeit als lockere Wolkendecke erhalten.
Die nachrückende **Kaltfront** bringt dagegen einen sehr abrupten und sehr turbulent verlaufenden Wetterwechsel: Hier stößt kalte und daher schwere Luft gegen die vorgelagerte warme Luft vor, bricht regelrecht in den Warmluftsektor ein und verdrängt die Warmluft nach oben, wobei diese rasch abkühlt: Es bilden sich hoch reichende Konvektions- oder Haufenwolken (**Cumulus**), die zu heftigen Schauern mit großen Regentropfen, mitunter auch zu Hagel- und Gewitterbildung führen. Meist dauern diese Wolkengüsse aber nicht sehr lange.
Nach dem Durchzug der Kaltfront beruhigt sich das Wetter wieder. Da die Feuchtigkeit der zuvor nach oben verdrängten Warmluft kondensiert ist und die relative Feuchte der spürbar kälter gewordenen Luft gering ist, nimmt die Wolkenbildung im sogenannten **Rückseitenwetter** rasch ab.
Weil die Warmluft beim Aufgleiten Bewegungsenergie verliert, holt die dadurch relativ schnellere Kaltfront die Warmfront nach und nach ein. Letztlich wird dadurch der Warmluftsektor in der **Okklusion** (Aufeinandertreffen von Kalt- und Warmfront) ganz vom Boden abgehoben und kühlt in der Höhe aus. Der Tiefdruckwirbel verliert so an Eigendynamik, Kondensation und Niederschlagsbildung nehmen ab, die Zyklone „stirbt". „Zyklonenfriedhöfe" sind Räume im Inneren der Kontinente, die daher kaum Frontalniederschläge erhalten.

Das antizyklonale Wettergeschehen

Großräumige und länger anhaltende Hochdruckwetterlagen über Europa entstehen oft durch Vorstöße von Polar- oder von Subtropikluft. Aber auch die Druck-Saug-Pumpe des Jetstreams erzeugt Antizyklonen, die wie die Zyklonen mit der Westwindströmung ostwärts ziehen.
In allen drei Fällen sind die Wettererscheinungen gleich: Die Absinkbewegung im Hoch führt zur Erwärmung der Luftmassen, zu Verdunstung und damit zur Wolkenauflösung. Strahlender Sonnenschein beziehungsweise sternenklare Nächte mit strahlungsbedingter Abkühlung und Bildung von Bodennebel oder Bodenfrost im Winter sind die Folgen. Wegen der aus dem Hoch ausströmenden Luft können andere, mit der Westwindströmung herbeigeführte subpolare oder subtropische Luftmassen nicht in dessen Zentrum vordringen. Luftmassenfronten mit ihren typischen Erscheinungen (s. o.) gibt es bei Antizyklonen daher nur in deren Rand.



M3 Durchzug einer Zyklone



M1 **Die das Wetter in Mitteleuropa beeinflussenden Hauptluftmassen und ihre Eigenschaften**

E↑ Großwetterlagen und Wetterkarten

Wer regelmäßig Wettervorhersagen verfolgt, wird dabei auch mit Wetterkarten konfrontiert. In ihnen sind mithilfe von Symbolen Daten von Tausenden Wetterstationen sowie von Flugzeugen, Schiffen und Satelliten zusammengeführt. Wie können Informationen aus diesen komplexen Karten herausgelesen und eine Wetterprognose erstellt werden?

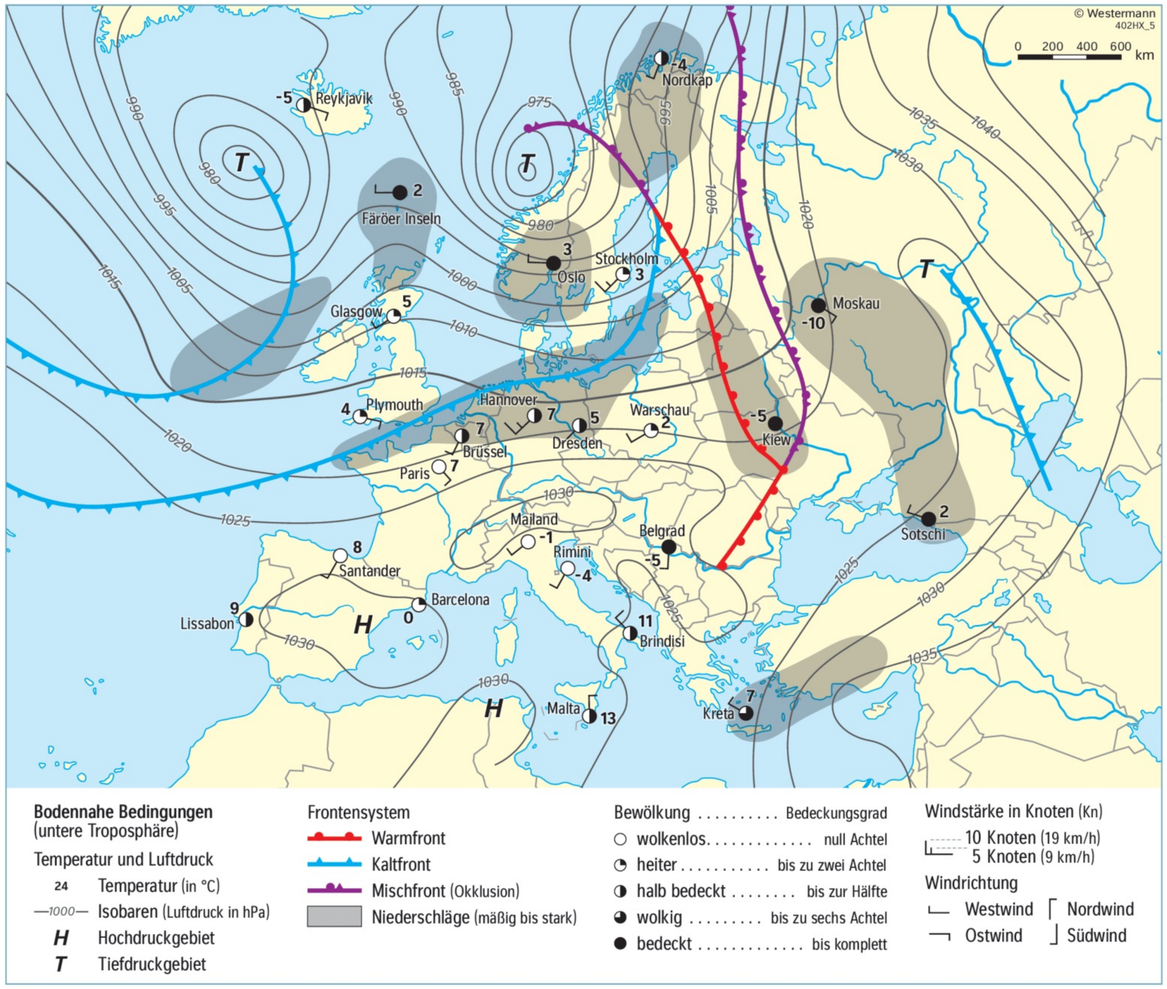
AUFGABEN

1. Bestimmen Sie die in Mitteleuropa am häufigsten vorkommende Großwetterlage sowie ihren Einfluss auf das Wetter (M1).
2. a) Geben Sie für die Stationen Plymouth, Hannover, Paris und Kiew (M2) die herrschenden Wetterbedingungen an.
   b) Führen Sie eine Auswertung der Wetterkarte M2 durch und erstellen Sie ein Kurzvideo mit der Vorhersage für die folgenden Tage (M3).
3. Werten Sie eine aktuelle Wetterkarte aus (Internet, Tageszeitung) und stellen Sie Ihre Ergebnisse der Klasse vor.
4. Informieren Sie sich, welche Druck- und Wetterbedingungen Einfluss nehmen, wenn die häufig vorkommenden Großwetterlagen „Eisheilige“ und „Altweibersommer“ herrschen (M1, Internet).

Eine Wetterkarte ist eine thematische Karte, die in unterschiedlicher Komplexität die Wetterverhältnisse in einem Gebiet zu einem gegebenen Zeitpunkt anhand von messbaren Wetterelementen wie Temperatur, Niederschlag, Bewölkung, Luftdruck und Wind visualisiert. Dabei handelt es sich bei Wetter im Gegensatz zu Witterung und Klima um den augenblicklichen Zustand der Atmosphäre an den abgebildeten Stationen (▸ S. 17: M2).

Die aus den Medien bekannten Bodenwetterkarten stellen neben Satellitenbildern und Höhenwetterkarten die wichtigste Grundlage für die Beurteilung der Wetterlage und der daraus folgenden Wettervorhersage dar. In ihnen sind anhand von örtlichen Messdaten aus Wetterstationen die verschiedenen Wettererscheinungen in Bodennähe, aber auch Bewölkung, Luftdruck und Frontenverläufe dargestellt. Höhenwetterkarten, in denen der atmosphärische Zustand in einem bestimmten Höhenniveau erkennbar ist, und Satellitenbilder ergänzen das Wissen über das Wettergeschehen am Boden.

Das Wetter in Mitteleuropa ist durch eine Vielzahl von wechselnden Großwetterlagen geprägt, die durch Luftmassen aus verschiedenen Herkunftsgebieten gekennzeichnet sind (M1). Diese Luftmassen unterscheiden sich vor allem in Hinblick auf Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt. Nordlagen können kalte und feuchte Polarluftmassen nach Mitteleuropa bringen; Südlagen dagegen lassen subtropische Warmluft einströmen, die für warmes und trockenes Wetter sorgt.



M2 **Bodenwetterkarte an einem 4. Januar, 12 Uhr**

1. Orientierung
Entnehmen Sie der Wetterkarte die Grundinformationen: Region, Datum, Uhrzeit, Quelle.

2. Analyse
- Arbeiten Sie grundlegende, das Wetter großräumig bestimmende Elemente heraus (Lage und Stärke von Hoch- und Tiefdruckgebieten, Verlauf der Fronten, resultierende Winde). Beachten Sie dabei die Angaben in der Legende. Der Normaldruck auf Meereshöhe liegt bei rund 1013 Hektopascal (hPa).
- Erschließen Sie anhand der Windrichtungen den Weg der wetterwirksamen Hauptluftmassen. Denken Sie daran, dass Winde den Druckunterschied zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten ausgleichen – je enger die Isobaren beieinander liegen, desto stärker ist der Wind. Tiefdruckgebiete rotieren gegen, Hochdruckgebiete mit dem Uhrzeigersinn.
- Charakterisieren Sie die aktuelle Wettersituation einzelner Stationen (Stationsangaben zu Luftdruck, Temperatur, Bewölkung, Niederschlag, Wind).

3. Entwicklung einer Wettervorhersage
- Entwickeln Sie begründet eine grobe Prognose für das dargestellte Gebiet unter Berücksichtigung der vermutlichen Verlagerungen bzw. Veränderungen der steuernden Druckgebiete, der Fronten sowie des Einflusses der Hauptluftmassen.
- Stellen Sie für einzelne Stationen Vermutungen an, wie sich ausgewählte Wetterelemente weiterentwickeln.

M3 **Arbeitsschritte zur Interpretation von Bodenwetterkarten**

M 1 Winterfeuchte Subtropen in Andalusien (Spanien)

M 2 Immerfeuchte Subtropen in Florida

Klima und Vegetation der Subtropen

Auf den ersten Blick haben Andalusien, die nördliche Sahara und Florida nicht viel gemeinsam – doch alle genannten Orte liegen in der gleichen Klimazone. Die Subtropen weisen je nach Lage ein sehr unterschiedliches Gesicht auf. Wie kommen diese verschiedenen Landschaften trotz der ähnlichen Breitenlage zustande?

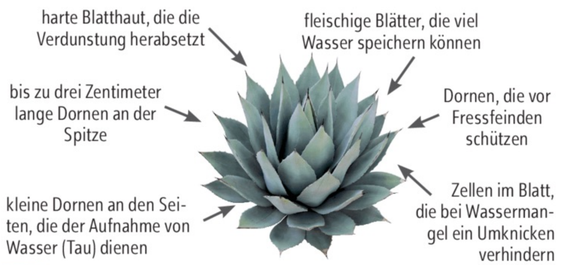
Die subtropische Klima- und Vegetationszone befindet sich zwischen gemäßigter und tropischer Zone und ist von einem Jahreszeitenklima geprägt. Da die Durchschnittstemperaturen des kältesten Monats kaum unter 5 °C sinken, ist Frost selten, wodurch theoretisch eine ganzjährige Vegetationsperiode herrscht. Die Niederschlagsverhältnisse differieren allerdings stark und führen zu einer Unterteilung der Subtropen.

AUFGABEN

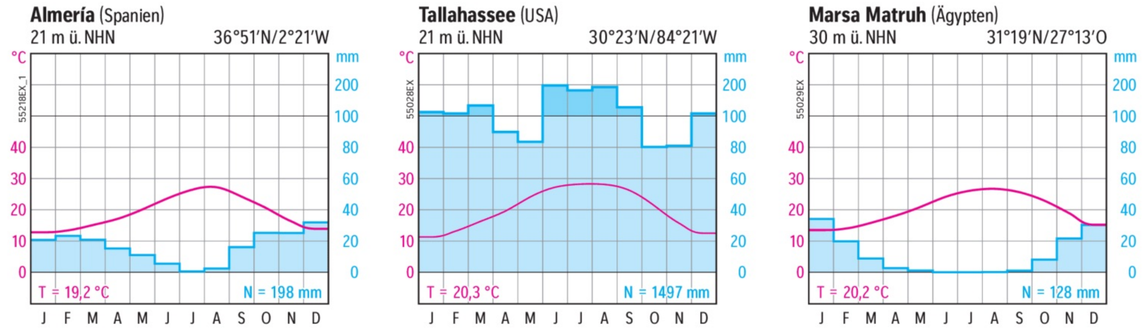
1. Beschreiben Sie das unterschiedliche Erscheinungsbild der Subtropen auf der Erde (M1, M2).
2. a) Vergleichen Sie die Klimadiagramme (M4) und begründen Sie die lageabhängigen Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
   b) Überlegen Sie, mit welchen Problemen die Landwirtschaft an den verschiedenen Klimastationen zu kämpfen hat.
3. Erklären Sie, warum die Agave in den Winterfeuchten Subtropen gedeihen kann (Text, M3).
4. Stellen Sie Thesen auf, warum sich die Subtropen nicht als eine rund um die Erde verlaufende Zone darstellen (M5, Atlas).
5. Erstellen Sie ein Wirkungsgefüge, in dem der Zusammenhang zwischen Klima und Vegetation in den Subtropen deutlich wird (▸ S. 225).

Winterfeuchte Subtropen

Für die **Winterfeuchten Subtropen**, auch Mediterrane Subtropen genannt (M1), die eher an der Westseite der Kontinente liegen, sind sommerliche Hitze und Trockenheit sowie milde und feuchte Winter (Winterregen) typisch. Im Sommer gelangt das Mittelmeer unter den Einfluss des Azorenhochs, einem Bestandteil des subtropischen Hochdruckgürtels (▸ S. 27), was zur Erwärmung und Trockenheit führt. Im Winter verlagert sich dieser Hochdruckgürtel und mit ihm das Azorenhoch gleichzeitig mit der Südwanderung der ITC nach Süden (▸ S. 22/23). Dadurch gerät das Mittelmeergebiet unter den Einfluss der Westwindzone und damit der Regen bringenden dynamischen Tiefdruckgebiete. Europa besitzt mit dem Mittelmeerraum im Süden große Anteile an den Winterfeuchten Subtropen. Diese spielen bei einer Jahresmitteltemperatur von 12 – 24 °C als agrarer Ergänzungsraum sowie als Urlaubsregion eine wichtige Rolle für den restlichen Kontinent.
Die klimatischen Bedingungen im Sommer stellen die Pflanzen vor große Herausforderungen. Typisch sind daher immergrüne Hartlaubgewächse wie Olivenbaum, Pinie, Rosmarin oder Agavengewächse, die spezielle Anpassungsstrategien (M3) entwickelt haben. Sie besitzen als Verdunstungsschutz zum Beispiel lederartige, eingerollte und meist kleine Blätter, die mit einer Wachsschicht überzogen oder behaart sind,



M 3 Klimatische Anpassungsstrategien der Agave



M 4 Klimadiagramme der Winterfeuchten, Immerfeuchten und Trockenen Subtropen (von links nach rechts)

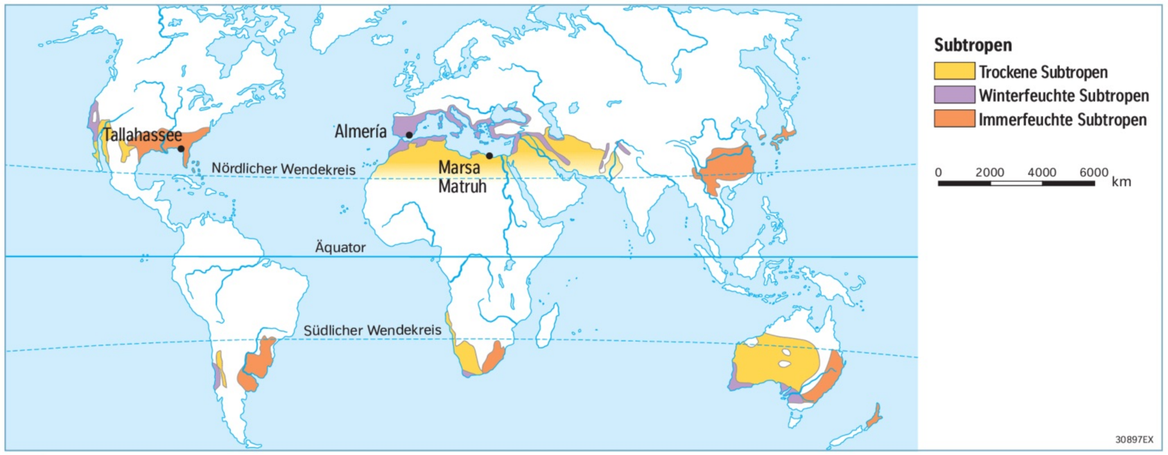
oder eine dicke, hitzebeständige Borke. In weiten Teilen des Mittelmeerraums ist die **Macchie** zu finden, eine sekundäre Gebüschformation, die nach der weitläufigen Abholzung durch den Menschen entstanden ist.
Die Bedingungen für eine landwirtschaftliche Nutzung sind in diesem Teil der Subtropen eher ungünstig. Da die Niederschläge für ganzjährigen Regenfeldbau nicht ausreichen, muss oft bewässert werden. Typische Anbauprodukte sind Olivenbäume, Wein, Zitrusfrüchte und Gemüse.

Immerfeuchte Subtropen

Dieser Klimasubtyp befindet sich ausschließlich an den Ostseiten der Kontinente und wird daher auch als **Ostseitenklima** bezeichnet. Ähnlich wie in den Winterfeuchten Subtropen herrschen milde Winter und heiße Sommer vor. Der Unterschied liegt jedoch in der ganzjährigen Humidität, meist mit einem sommerlichen Niederschlagsmaximum durch feuchte Ostwinde (Passat/Monsun; ▸ S. 22/23) vom Meer. Da genug Niederschläge fallen, konnten sich in dieser Zone ursprünglich Regen-, Feucht- und Lorbeerwälder entwickeln, die in vielen Regionen aufgrund der dichten Besiedlung inzwischen durch Kulturland ersetzt worden sind. Auch Sümpfe und Mangrovenwälder sind charakteristisch. Die Landwirtschaft profitiert von den warmen Sommertemperaturen und den hohen Niederschlägen. Nutzpflanzen wie Zitrusfrüchte, Reis, Erdnüsse, Baumwolle, Tabak und Tee erbringen gute Erträge.

Trockene Subtropen

Die **Trockenen Subtropen** stellen den Übergang zu den Trockenen Tropen dar, in denen zum Beispiel die nördliche Sahara, Teile der Atacama und der Nahe Osten liegen. Aufgrund der hohen Jahresmitteltemperaturen zwischen 16 und 28 °C und der ganzjährig geringen Niederschlagsmenge von bis zu 250 mm haben sich hier Steppen, Halbwüsten und Wüsten herausgebildet. Hier kommen Pflanzen wie Sukkulenten oder Aloen vor, die die Fähigkeit haben, Wasser zu speichern. Genutzt wird der für Ackerbau ungeeignete Raum unter anderem durch extensive Tierhaltung.



M 5 Verbreitung der Subtropen

M1 Beregnung (Pivot-Bewässerung)

M2 Furchenbewässerung

Überwindung der Trockenheit durch Bewässerung

In Regionen wie den Subtropen, in denen die Niederschläge für Regenfeldbau nicht ausreichen, wird häufig auf Bewässerungslandwirtschaft zurückgegriffen. Dabei wird die Bewässerung in ländlichen Räumen auch als Motor für eine ökonomische Weiterentwicklung angesehen. Welche Bewässerungstechniken werden hierbei eingesetzt? Und welche Probleme ergeben sich aus deren Einsatz?

Bei der Bewässerungslandwirtschaft werden vor allem in ariden Gebieten Bewässerungsverfahren eingesetzt, um fehlende Niederschläge während der Vegetationsperiode auszugleichen, wasserbedürftige Pflanzen wie Reis oder Baumwolle anzubauen oder den Ertrag zu steigern. Zudem kann der Anbau über die Grenze des Regenfeldbaus hinaus ausgeweitet werden. Das dafür erforderliche Wasser wird aus Fluss- und Grundwasser oder aus angelegten Wasserspeichern entnommen. Weltweit werden etwa 40 Prozent der Anbauflächen für Nahrungsmittel bewässert – ein großer Teil davon liegt in Asien. Eine wichtige Rolle spielt die Bewässerungslandwirtschaft auch im Mittelmeerraum sowie in den Great Plains der USA. Aufgrund des Bevölkerungswachstums und des rezenten Klimawandels wird mit einer weltweiten Ausweitung der bewässerten Flächen gerechnet. Dabei verbraucht die Landwirtschaft aktuell bereits fast 70 Prozent des global verfügbaren Süßwassers.

Probleme und Lösungsansätze

Im Rahmen der Bewässerungslandwirtschaft gibt es verschiedene Verfahren, die jeweils Vor- und Nachteile mit sich bringen (M5).

Die starke Entnahme von Wasser in Kombination mit dem Absinken des Grundwasserspiegels erhöht die Wahrscheinlichkeit von Wasserknappheit in Dürreperioden. Wenn der Pegelstand in Flüssen oder Seen langfristig sinkt oder die Gewässer ganz austrocknen, stellt dies einen gravierenden Eingriff ins Ökosystem dar. In Küstenregionen steigt bei einem sinkenden Grundwasserspiegel das Risiko, dass Salzwasser in das Grundwasser eindringt. Ein weiteres Problem besteht in der möglichen Bodendegradation im Falle einer unsachgemäßen Bewässerung. So können Böden durch einen Anstieg des Grundwassers dauerhaft vernässen oder infolge eines sinkenden Grundwasserspiegels austrocknen. In ariden Gebieten ist besonders die Gefahr einer **Bodenversalzung** gegeben (M3). Bereits das Regenwasser enthält Salze, die von dem geringen Niederschlag nicht ausgewaschen werden. Hohe Temperaturen sorgen dafür, dass Wasser aus tieferen Bodenschichten nach oben gesogen wird (Kapillareffekt) und dort verdunstet, während das Salz im Oberboden zurückbleibt. Wenn durch das Bewässerungswasser zusätzliche Salze eingetragen werden, erhöht sich der Salzgehalt im Boden und die Gefahr der Versalzung und der Salzkrustenbildung steigt. Ein hoher Salzgehalt im Boden führt zu einer gestörten Wasser- und Nährstoffaufnahme bei Pflanzen und verlangsamt ihr Wachstum. Letztendlich können sie nicht mehr gedeihen und sterben ab – Ernteausfälle sind die Folge. Durch Bodenversalzung gehen aufgrund von irreversibler Bodendegradation jedes Jahr riesige Flächen für die Landwirtschaft verloren, was auf lange Sicht die globale Nahrungsmittelversorgung einer wachsenden Weltbevölkerung bedroht.

Effektive Entwässerungssysteme, bei denen zum Beispiel mithilfe von Drainagen das Salzwasser ausgewaschen und über Entwässerungsgräben abtransportiert wird, können diesem Problem entgegenwirken. Eine weitere Gegenmaßnahme ist der Abtrag der obersten, salzhaltigen Bodenschichten oder der Anbau salztoleranter Pflanzen. Da auf die Bewässerungslandwirtschaft in Zukunft nicht verzichtet werden kann, muss an einer Verbesserung der Wassereffizienz beständig weitergearbeitet werden.

M3 Bodenversalzung bei unsachgemäßer Bewässerung

M4 Tröpfchenbewässerung

Salztolerante Pflanzen	Mäßig salztolerante Pfanzen	Pflanzen mit geringer Salztoleranz
Dattelpalme	Weizen	Erbse
Gerste	Tomate	Bohne
Zuckerrübe	Hafer	Orange
Baumwolle	Alfalfa	Apfel
Spargel	Reis	Pflaume
Spinat	Mais	Mandel
	Olive	
	Wein	

M6 Pflanzen unterschiedlicher Salztoleranz

	Furchenbewässerung	Beregnung	Tröpfchenbewässerung, ggf. kombiniert mit Folientunneln
Technik	Flächen werden mithilfe von Furchen oder Kanälen überstaut.	Flächen werden beregnet (z. B. mit Sprinkleranlagen).	Durch Schläuche mit kleinen Düsen werden geringe Wassermengen direkt über bzw. an die Wurzeln der Pflanze gebracht.
Verdunstungsverluste	hoch	hoch	gering
Versickerungsverluste	mittel	gering	gering
Wassernutzungseffizienz	40 – 50 Prozent	60 – 70 Prozent	80 – 90 Prozent
Installationskosten	gering	hoch	sehr hoch
Ansprüche an Boden und Untergrund	schwere, nicht sandige Böden, evtl. Planieren nötig	alle Böden, kein oder sehr geringes Gefälle	alle Böden, jedes Gefälle
weitere Merkmale	• arbeitsintensiv, • nicht kapitalintensiv	• kapitalintensiv (Installation und Betrieb), • Dünger und Pflanzenschutzmittel können mit dem Wasser aufgebracht werden, • windempfindlich	• kapitalintensiv (v. a. Installation), • arbeitsintensiv (Wartung, Wasserzufuhr muss genau geregelt werden), • Dünger und Pflanzenschutzmittel können mit dem Wasser gegeben werden, • keine Staunässe im Boden (→ Wurzelfäule), • geringe Gefahr einer Bodenversalzung
geeignete Kulturen	stauwassertolerante Arten (z. B. Reis) oder Arten, die nur temporäre Bewässerung brauchen (z. B. Zitrusfrüchte)	v. a. einjährige Pflanzen (z. B. Alfalfa, Gemüse, Getreide)	v. a. Dauerkulturen, aber auch Gemüsebau

M5 Vergleich verschiedener Bewässerungsverfahren

AUFGABEN

1. a) Beschreiben Sie die verschiedenen Bewässerungstechniken und geben Sie eine erste Einschätzung über die Effektivität und Kosten der Verfahren (M1, M2, M4).
   b) Überprüfen und erweitern Sie Ihre Aussagen mithilfe der Tabelle M5.
2. Bewerten Sie die Techniken vor dem Hintergrund der Wasserersparnis und des Einsatzes in kleinbäuerlicher und industrieller Landwirtschaft.
3. Gestalten Sie ein Schaubild, in dem der Prozess der Bodenversalzung verständlich dargestellt wird (M3, Text, ▸ S. 225).
4. Erörtern Sie, ob der Anbau salztoleranter Pflanzen eine nachhaltige Nutzungsmöglichkeit auf versalzten Böden darstellt (M6, Internet).

M1 Blick über eine Bucht in der Region Argolis

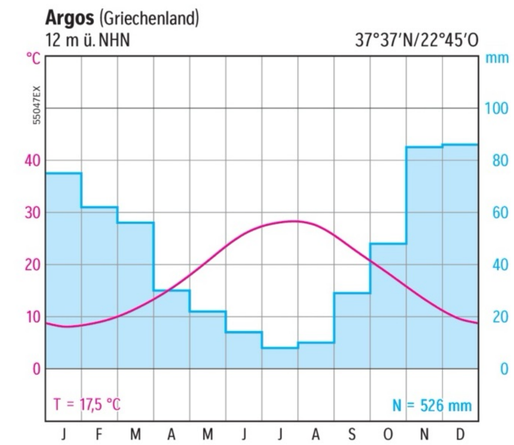
Wachstum trotz Sommertrockenheit – Beispiel Argolis in Griechenland

Bei Reisenden ist der Mittelmeerraum in den Sommermonaten sehr beliebt: Es lockt viel Sonnenschein, Regentage gibt es nur wenige. Gleichzeitig prägen intensiv genutzte Flächen mit grünen Zitrushainen, Weinbergen und Olivenhainen die Landschaft. Wie ist dieser scheinbare Widerspruch möglich?

Die Region am Argolischen Golf zählt zu den kulturhistorisch bedeutsamsten in Griechenland und gehört aufgrund von fluvialem Schwemmland zu den fruchtbarsten Gebieten der Halbinsel Peloponnes. Aufgrund einer jährlichen Niederschlagssumme von etwa 500 mm leidet die Ebene um die Orte Argos und Nafplio jedoch unter Wassermangel. Um Landwirtschaft zu betreiben, muss bewässert werden.

AUFGABEN

1. Führen Sie eine Bildbeschreibung mit dem Fokus auf der Nutzung der Landschaft durch den Menschen durch (M1, ▸ S. 220).
2. a) Verorten Sie die Region Argolis und beschreiben Sie das Klima der Region (Atlas, M2).
   b) Leiten Sie Gunst- und Ungunstfaktoren für eine agrarische Nutzung ab.
3. Die Gegend um Nafplio wird heute intensiv landwirtschaftlich genutzt. Erläutern Sie, wie dies gelingen konnte, und charakterisieren Sie die heutige Anbaustruktur (M3 – M5, Atlas).
4. a) Diskutieren Sie, inwieweit die Form der Bewässerung in der Argolis nachhaltig ist (M6, Atlas, ▸ S. 211: M4).
   b) Entwickeln Sie mögliche Verbesserungen.



M2 Klimadiagramm Argos

In der agrarisch genutzten Ebene rund um die Orte Argos und Nafplio wurde um das Jahr 1930 nur ein kleiner Bereich mithilfe von Grundwasserpumpen bewässert. Die Bauern produzierten zu dieser Zeit noch vorwiegend für den Eigenbedarf. Die fruchtbare Ebene leidet unter Wassermangel, obwohl das Süßwasser eigentlich vorhanden ist. Die westlich gelegenen Hochebenen von Tripolis, wo es immer reichlich Niederschläge gibt, haben größtenteils keinen natürlichen Abfluss. Das Wasser sucht sich seinen Weg durch das Karstgestein und tritt einige Hundert Meter tiefer entweder an Land oder im Wasser wieder aus. Während die Quellen an Land schon immer genutzt wurden, mussten die Bauern jahrhundertelang zusehen, wie sich das ungenutzte Karstwasser ins Meer ergoss. Ab dem Zweiten Weltkrieg wurde der Wassermangel größer, da die Argolis-Bauern zunehmend Zitrusfrüchte anbauten. Das Wasser für die Zitrus-Plantagen wurde aus Brunnen hochgepumpt, wodurch der Grundwasserspiegel immer weiter absank, Salzwasser eindrang und landwirtschaftlich nutzbaren Boden zerstörte.

Auch um die Versalzung der Argolis-Ebene aufzuhalten, machte ein deutscher Ingenieur im Rahmen des Anavalos-Projekts eine dieser Quellen nahe des Ortes Kiveri nutzbar. Ein Damm umschließt seit 1972 die nur 25 Meter von der Steilküste entfernt liegende Quelle, damit Süß- und Meerwasser getrennt bleiben. Vier gigantische Pumpen können Karstwasser in das Quellbecken fördern. Von mehreren Speicherbecken läuft das Wasser dann über ein Kanalsystem bis auf die andere Seite des Argolischen Golfs. Mithilfe von Pumpstationen entlang der Wasserreservoirs des Anavalos-Projekts wurde der erhöhte Wasserbedarf gedeckt. Durch diese Maßnahme wurde ein Strukturwandel von der Selbstversorgung hin zu einer marktorientierten Produktion unterstützt.

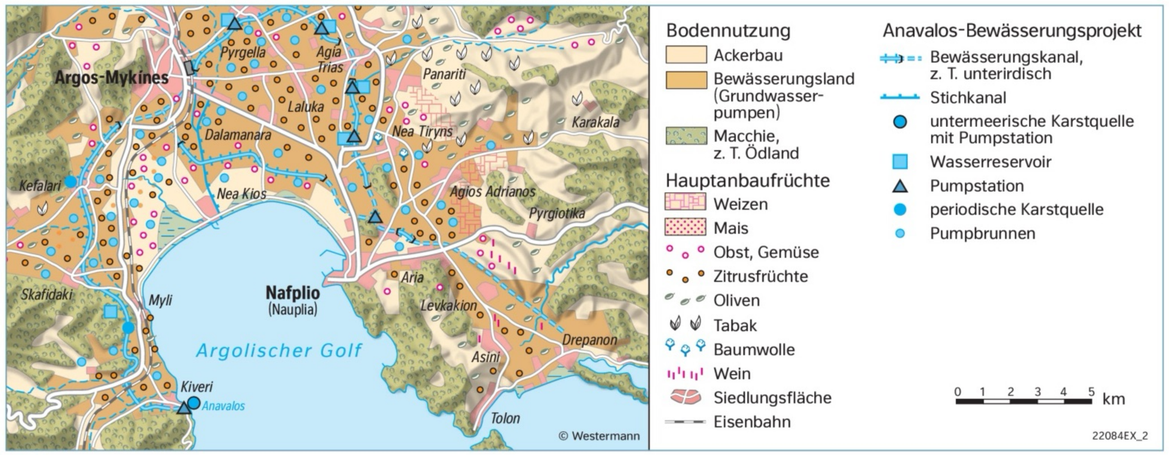
M3 Entwicklung des Bewässerungssystems für die Region Argolis

M5 Gefasste Karstquelle in Kiveri mit Pumpwerk

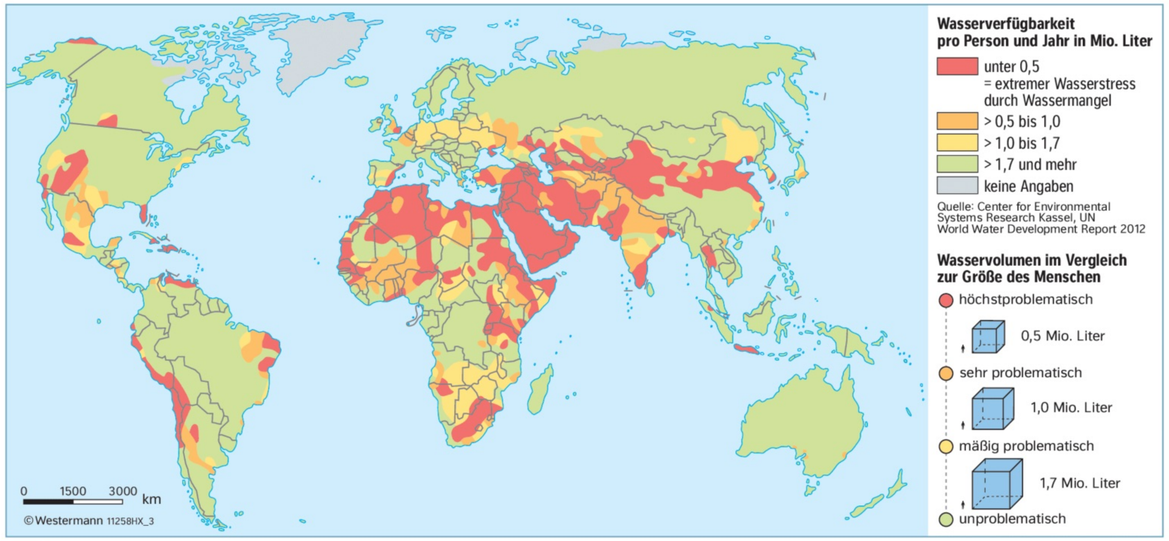
„Die gesamte Bewässerungsinfrastruktur dieses ‚Anavalos-Projektes' ist heute in einem miserablen Zustand. Die Pumpen werden nur notdürftig gewartet. Der Beton der Caissons platzt ab und legt den Armierungsstahl frei. Die Dichtigkeit des großen Beckens gegen rückströmendes Meerwasser ist in Gefahr. Der große Bewässerungskanal ist in einem ebenso desaströsen Zustand. Im Frühjahr 2019 liefen die Pumpen nicht, weil die reichhaltigen Niederschläge eine [...] Bewässerung der Agrumenplantagen noch nicht erforderlich machten. Doch im Frühjahr 2018 stand das gesamte System still, weil die Landwirte ihre Wasserrechnungen nicht bezahlten, sondern trotz aller ökologischen Risiken lieber auf kostenlose Grundwasserförderung setzten. Davon zeugen nach wie vor unzählige kleine Windräder in der Argolis, die die Grundwasserpumpen betreiben. Daraufhin konnten die Betreiber des Kiveri-Pumpwerks ihre Stromrechnungen nicht bezahlen, ihnen wurde der Strom abgestellt."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M6 Das Anavalos-Projekt heute



M4 Kartenausschnitt der Region Argolis (Griechenland)



M1 Verfügbarkeit von Wasser im Jahr 2050 (Projektion)

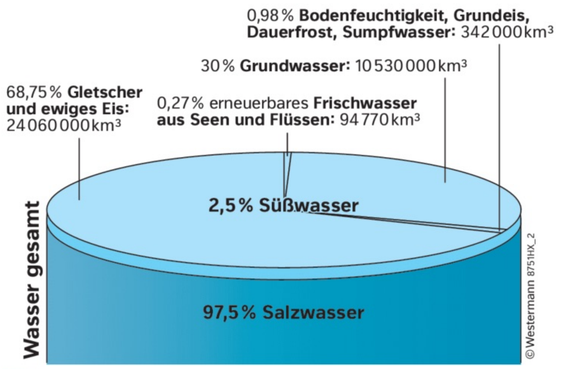
E↑ Wasser – Lebensspender und Risikofaktor

Naturereignisse rund um Wasser beschäftigen die Medien mittlerweile regelmäßig: Starke Regenfälle verursachen Überschwemmungen, andernorts werden Trockenregionen von schweren Dürren heimgesucht. Für die Menschheit ist Wasser auf der einen Seite Lebensgrundlage, andererseits erweist es sich durch seine ungleiche Verteilung über die Erde immer wieder als Naturgefahr (▸ S. 138 – 141).

Jeder Mensch braucht pro Tag zwei bis vier Liter Wasser zum Überleben. Wird der Bedarf an Sanitär- und Industriewasser sowie das Wasser, das für die Nahrungsmittelproduktion verbraucht wird, einberechnet, liegt der Wasserbedarf je nach Region oft bei mehreren 100 Litern pro Person. Auch wenn unser Planet zu gut zwei Dritteln mit rund 1,5 Milliarden Kubikkilometer Wasser bedeckt ist, ist für den Menschen nur ein geringer Teil davon als Süßwasser verfügbar (M2). Als Wasserverfügbarkeit wird die Menge des Süßwassers bezeichnet, die statistisch gesehen von einer Person pro Jahr genutzt werden könnte. Wie viel Wasser verfügbar ist, hängt u. a. von der Höhe und Art der Niederschläge, von der Wasserqualität sowie vom Wasserverbrauch ab. Bei Wassermengen zwischen 1000 und 1700 m³ pro Jahr und Kopf können periodische Wasserknappheiten auftreten, Werte unter 1000 m³ werden als Wassermangel, unter 500 m³ als extremer Wasserstress bezeichnet.

AUFGABEN

1. Vergleichen Sie die Wasservorkommen auf der Erde mit der generellen Verfügbarkeit an Süßwasser für den Menschen (M2).
2. Beschreiben Sie, welche Regionen 2050 voraussichtlich von Wassermangel und extremem Wasserstress betroffen sein werden (M1).
3. Informieren Sie sich über die Hintergründe zu einer ausgewählten Wasserkonfliktregion (M3, Internet) und erstellen Sie einen kurzen Podcast dazu.
4. Erarbeiten Sie strukturiert mögliche Maßnahmen, welche die Missstände hinsichtlich der Wasserversorgung verbessern würden (M4, M5).
5. Recherchieren Sie innovative Formen der Wassergewinnung und stellen Sie diese vor (▸ S. 228).

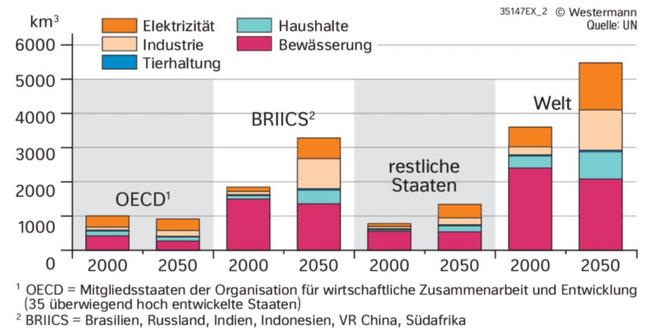


M2 Wasservorkommen auf der Erde

M3 Wasser-Konfliktregionen

Wasserkonflikte

Jedes Jahr erinnert der Weltwassertag am 22. März daran, dass sich der Druck auf die globalen Wasservorräte aufgrund des schnellen Bevölkerungswachstums, der zunehmenden Verstädterung, des rezenten Klimawandels und eines falschen Wassermanagements stetig verstärken wird. Damit werden auch die Konflikte um Wasser innerhalb und zwischen Ländern zunehmen, da immer mehr Menschen weltweit keinen sicheren und freien Zugang zu sauberem Trinkwasser haben. Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte in Kombination mit den klimatischen Bedingungen finden sich viele der Wasserkonfliktregionen in den Subtropen.



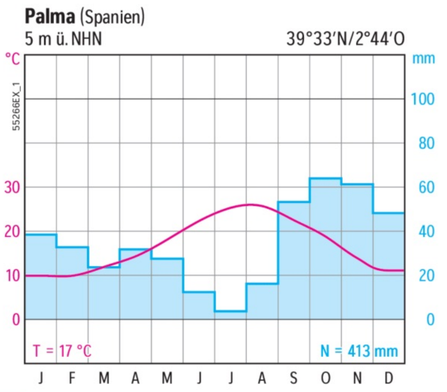
¹ OECD = Mitgliedsstaaten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (35 überwiegend hoch entwickelte Staaten)
² BRIICS = Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, VR China, Südafrika

M4 Trinkwasserverbrauch 2000 und 2050 (Projektion)

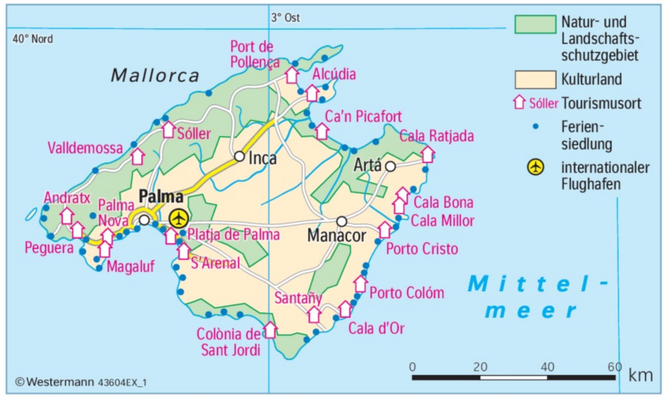
- Rund 2 Mrd. Menschen haben keinen regelmäßigen Zugang zu sauberem Wasser.
- Im Jahr 2040 werden fast 600 Mio. Kinder in Gegenden ohne ausreichenden Zugang zu Wasser leben.
- Schätzungsweise 2,3 Mrd. Menschen haben keine Möglichkeit, sich die Hände mit Wasser und Seife zu waschen. Aufgrund der mangelnden Hygiene breiten sich Krankheiten deutlich schneller aus.
- 3,6 Mrd. Menschen haben zu Hause keine sicheren sanitären Anlagen.
- Fast 500 Mio. Menschen verfügen nicht einmal über eine einfache Toilette, sondern verrichten ihre Notdurft im Freien.
- Täglich sterben weltweit mehr als 1000 Kinder unter 5 Jahren an Krankheiten, die durch verschmutztes Wasser, fehlende Sanitäreinrichtungen und mangelnde Hygiene verursacht werden.
- Wenn Kinder täglich lange Wege gehen müssen, um Wasser für ihre Familien zu holen, fehlt ihnen oft die Zeit, eine Schule zu besuchen.
- 42 Prozent der Schulen weltweit verfügen über keine hygienische Grundversorgung. Mädchen bleiben während ihrer Menstruation dann häufig lieber zu Hause.
- Rund 500 Mio. Kinder leben in Gebieten, die aufgrund extremer Wetterereignisse sowie des steigenden Meeresspiegels einem extrem hohen Überschwemmungsrisiko ausgesetzt sind.
- Bis 2040 wird fast jedes vierte Kind in einem Gebiet leben, das von extremer Trockenheit betroffen ist.

Quelle der Daten: UNICEF 2023

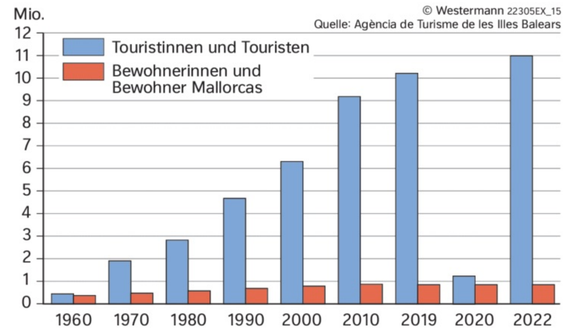
M5 Fakten zum Thema Wasser



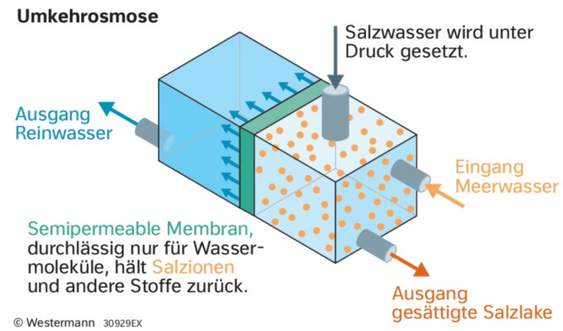
M1 Klimadiagramm von Palma (Mallorca)



M2 Landschaftliche Nutzung auf Mallorca



M4 Entwicklung der Einwohner- und Touristenzahlen



M6 Prinzip einer Meerwasserentsalzungsanlage

Mallorcas Wasserversorgung – im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft, Tourismus und rezentem Klimawandel

Für Inseln stellen die geringe Verfügbarkeit von Süßwasser sowie die konkurrierende Flächennutzung grundsätzlich ein Problem dar. Handelt es sich wie bei Mallorca zusätzlich um eine der weltweit gefragtesten Tourismusdestinationen, dann steht die Region, auch vor dem Hintergrund des rezenten Klimawandels, vor großen Herausforderungen.

Mallorca ist mit 3640 Quadratkilometern die größte Insel der Balearen, zu denen auch Menorca, Ibiza und Formentera gehören. Die Niederschläge fallen vor allem im Nordwesten im 1400 m hohen Gebirge der Serra de Tramuntana – aufgrund starker Verkarstung bilden sich keine Fließ- und dauerhaften Oberflächengewässer. Die Trinkwasserversorgung basiert daher auf zwei in der Serra de Tramuntana liegenden Stauseen und auf Grundwassernutzung. Das meiste Niederschlagswasser wird in das mallorquinische Flachland abgeführt, wo es die Grundlage für die Bewässerungslandwirtschaft und die Trinkwasserversorgung der Insel bildet. Aufgrund eines stetigen Anstiegs der Einwohnerzahl und vor allem der Touristenankünfte (M4) steigt der Wasserverbrauch seit Jahrzehnten an. Der Tourismus stellt mit Abstand die wichtigste Einnahmequelle Mallorcas dar.

Inzwischen werden über 90 Prozent der verfügbaren Wasserressourcen genutzt, wobei der Tourismus in etwa die gleiche Menge an Wasser verbraucht wie die Bewässerungslandwirtschaft. Erschwerend hinzu kommt ein marodes Leitungsnetz, wodurch ein Viertel des Wassers auf dem Weg verloren geht.

AUFGABEN

1. Zwischen Juni und September ist auf Mallorca Hauptsaison. Stellen Sie dar, warum dies in Bezug auf das Klima problematisch ist (M1).
2. Begründen Sie die Nutzungsstrukturen auf der Insel (M2, Atlas).
3. Sammeln Sie Gründe, warum der Wasserverbrauch in vermieteten Ferienhäusern deutlich höher liegt als im Durchschnitt (M3).
4. Gestalten Sie einen anschaulichen Informationsflyer, der über Ursachen und Folgen eines zunehmenden Wassermangels auf Mallorca aufklärt (M1–M4, Text).
5. Bewerten Sie den Ausbau von Meerwasserentsalzungsanlagen auf der Insel (M5, M6, Internet).

M3 Ferienhäuser auf Mallorca

Weil die Insel lange Zeit als günstiges Pauschalreiseziel v. a. auch für Partytouristen galt, wurde in den letzten drei Jahrzehnten ein Umbau des Tourismus versucht, indem die Leitmotive Naturschutz und Qualitätstourismus eine wichtige Rolle spielen sollen. Unter anderem wurde 2016 die Ecotasa eingeführt, eine Art Ökosteuer für Touristinnen und Touristen, mit deren Hilfe Projekte zum Naturschutz und zur Verbesserung der Tourismuswirtschaft finanziert werden. Problematisch ist allerdings der inzwischen zunehmende Residenzialtourismus (M3). Darunter wird der Bau oder Erwerb einer Immobilie für temporäre Wohnzwecke verstanden, die privat genutzt oder an andere Reisende vermietet wird. Der durchschnittliche Wasserverbrauch pro Haushalt liegt hierbei um das Fünffache höher als der Durchschnitt, auch weil der Bau von Swimmingpools in den letzten Jahren boomt.

Durch die starke Überbeanspruchung des Wassers ergeben sich zahlreiche Probleme. Aufgrund einer Absenkung des Grundwasserspiegels kommt es immer wieder zu einer Einsickerung von Salzwasser. Bei Wassermangel wird dem Trinkwasser entsalztes Meerwasser beigemischt. Die Qualität und die Verfügbarkeit von Wasser nehmen daher insgesamt ab. Zum Teil müssen Tanklaster das Wasser auf der Insel verteilen. Zudem herrscht aufgrund einer größeren Trockenheit eine erhöhte Waldbrandgefahr.

Seit Jahren wird nach Lösungen für die zurückgehende Wasserverfügbarkeit gesucht. Ein Ausbau von Brunnen, deren Zahl weiterhin zunimmt, erhöht die Gefahr von Salzwasserintrusion ins Süßwasser noch mehr. Aufwendige Aufklärungskampagnen sollen Gäste und Einheimische über die herrschende Wasserknappheit informieren und zum Wassersparen anregen. Teilweise wird das Wasser rationiert und ein Maximalverbrauch an Wasser pro Kopf festgelegt.

Infolge des rezenten Klimawandels wird für die Balearen bis Ende 2100 ein Rückgang der Niederschläge um 10 bis 20 Prozent und ein Anstieg der Temperaturen um 1,75 bis 5 °C prognostiziert, wodurch Hitzeperioden und Dürren zunehmen und ein Anstieg des Wasserbedarfs in allen Wirtschaftssektoren erwartet wird. Daher ist ein besseres Wassermanagement mit dem Ziel einer nachhaltigen Wassernutzung sowie einer Senkung des Verbrauchs unumgänglich.

Bereits 2017 verfügte Spanien über 900 Entsalzungsanlagen mit einer Kapazität von 1,2 Millionen Kubikmeter pro Tag, davon 58,3 Prozent für Meerwasserentsalzung und der Rest für versalztes Grundwasser. Die extrem energieintensive Entsalzungstechnologie – mindestens 3,6 bzw. 5 kWh Strom werden pro Kubikmeter für die Entsalzung von Grundwasser bzw. Meerwasser benötigt – wurde vor allem auf touristisch genutzten Inseln und an der spanischen Mittelmeerküste als Ergänzung der Wasserversorgung installiert.

Auf Mallorca gibt es aktuell drei Meerwasserentsalzungsanlagen in Palma, Andratx und Alcúdia. Die Anlage in Palma wurde 1999 erbaut, die Kosten von fast 60 Millionen Euro wurden größtenteils durch die EU finanziert. Aus etwa 1000 Litern Meerwasser entstehen 450 Liter reines Wasser und 550 Liter Sole, die wieder ins Meer zurückgeleitet wird. Um aus dem reinen Wasser Trinkwasser zu erhalten, müssen noch Kalk, Kohlenstoffdioxid sowie etwas Chlor zugefügt werden. Das entsalzte Wasser wird mithilfe von Tanklastern über die Insel verteilt. In zunehmendem Maße dürfen private Pools nur noch mit diesem gelieferten Wasser befüllt werden, um die Trinkwasserreserven zu schonen.

Immer wieder wird diskutiert, ob bestehende Anlagen aus- oder neue Anlagen aufgebaut werden sollen. Mehrere südliche Tourismusregionen fordern inzwischen eine mobile Meerwasserentsalzungsanlage, um die Trinkwasserqualität zu verbessern, da es keine weiteren Grundwasservorräte gebe und keine Möglichkeit, weitere Brunnen zu bauen. Diese 14 Millionen Euro teure Anlage, die mit Fotovoltaik betrieben werden kann, soll mit den Einnahmen aus der Steuer für nachhaltigen Tourismus finanziert werden und kann bei Bedarf an andere Gegenden auf der Insel weitergegeben werden.

M5 Der Einsatz von Entsalzungsanlagen

M1 Indische Frauen beim Wasserholen

Produkt	Wassermenge
Pkw	400 000 Liter
PC	20 000 Liter
1 kg Rindfleisch	15 455 Liter
Jeans	11 000 Liter
Lederschuhe (Paar)	8000 Liter
1 kg Käse	5000 Liter
1 kg Reis	3400 Liter
1 kg Eier	3300 Liter
T-Shirt (Baumwolle)	2500 Liter
100 g Schokolade	1700 Liter
1 kg Weizen	1300 Liter
1 kg Äpfel	700 Liter

Quelle: waterfootprint.org, 2023

M2 Virtuelles Wasser in Alltagsprodukten

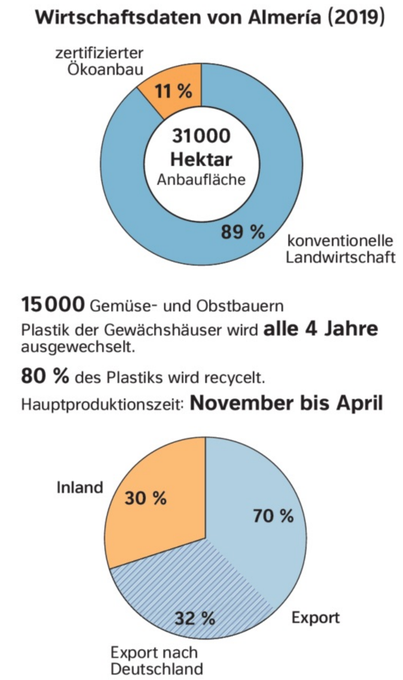
E↑ Virtuelles Wasser und Wasserfußabdruck

Der Wasserverbrauch auf der Erde ist sehr unterschiedlich: Im Schnitt benötigen die Einwohner in Deutschland pro Kopf und Tag etwa 128 Liter Wasser; in Mittelmeerländern wie Griechenland oder Spanien werden teilweise über 200 und in den USA um die 300 Liter Wasser pro Kopf und Tag verbraucht. Wenn jedoch Konsumgüter und Lebensmittel in den Verbrauch eingerechnet werden, ist der Wasserbedarf pro Person deutlich höher.

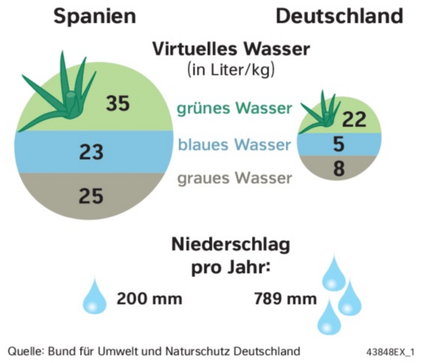
Dieses für die Herstellung einer Ware gesamte indirekt genutzte Süßwasser, mit dem der deutsche Wasserverbrauch pro Kopf und Tag auf fast 4000 Liter steigt, wird als **virtuelles Wasser** bezeichnet. Unser täglicher **Wasserfußabdruck** steigt damit, da über 80 Prozent der virtuellen Wassermenge importiert werden. Besonders das Lieblingsgemüse der Deutschen, die Tomate, macht einen nennenswerten Anteil unseres externen Wasserfußabdrucks aus.

AUFGABEN

1. Nehmen Sie Stellung zu dem Foto (M1).
2. Erläutern Sie die Konzepte „virtuelles Wasser“ und „Wasserfußabdruck“ in eigenen Worten (M5, M7).
3. Erklären Sie unter der Berücksichtigung des Naturraums die Bedeutung und globale Verwendung von virtuellem Wasser am Beispiel des spanischen Tomatenanbaus (M2 – M8, ▸ S. 125: M4, Atlas).
4. a) Berechnen Sie mithilfe einer passenden Internetseite Ihren persönlichen Wasserfußabdruck.
   b) Sammeln Sie machbare Möglichkeiten, wie Sie persönlich Wasser (auch virtuelles Wasser) sparen können.



M3 Almerías Gemüse- und Obstanbau



M4 Virtuelles Wasser in Tomaten

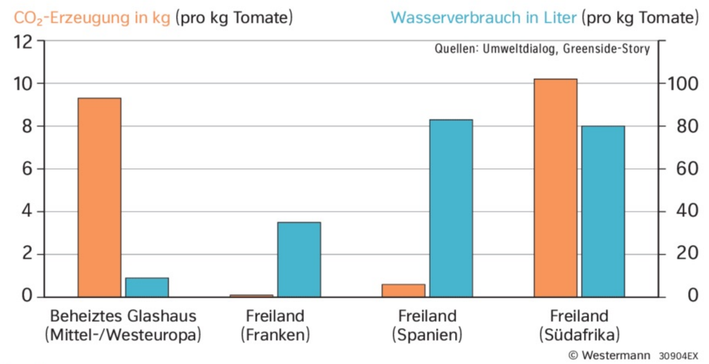
Das Konzept des virtuellen Wassers entwickelte der britische Wissenschaftler John Anthony Allen in den 1990er-Jahren. Er wollte vor allem zeigen, dass durch den weltweiten Handel mit Nahrungsmitteln und Industrieprodukten auch indirekt mit virtuellem Wasser gehandelt wird. Vor allem die wasserintensive und exportorientierte Landwirtschaft in Trockenregionen der Erde steht hier im Fokus. Dabei wird zwischen drei Arten von virtuellem Wasser unterschieden:

- Grünes virtuelles Wasser bezieht sich dabei auf die Menge an Regenwasser, die im Boden gespeichert ist und von Pflanzen aufgenommen wird.
- Blaues virtuelles Wasser steht für das Grundwasser oder Wasser aus Flüssen, Bächen und Seen für die Industrieproduktion oder den Privatgebrauch ohne Rückleitung.
- Graues virtuelles Wasser ist die Wassermenge, die während des Herstellungsprozesses eines Produktes direkt verschmutzt wird und nicht mehr nutzbar ist.

M5 Konzept des virtuellen Wassers

Nachhaltiger Umgang mit Wasser

Die Nachhaltigkeit im Umgang mit Wasser ist eine Möglichkeit, die wertvolle Ressource zu schonen. Nachhaltiger Umgang bedeutet, nur so viel an Süßwasser zu verbrauchen, wie auf natürliche Weise wieder regeneriert werden kann, und Wasserressourcen effektiver zu nutzen.
Ein großes Sparpotenzial bietet dabei die Landwirtschaft mit ihrem großen Anteil am globalen Wasserverbrauch, auch wegen der Bewässerungsflächen (M6, ▸ S. 126/127). Durch technologisch verbesserte Verfahren, wie z. B. die Tröpfchenbewässerung mit einer Effizienz von 90 Prozent, lassen sich große Mengen an Wasser sparen.
Neben technologischen Maßnahmen können auch ökonomische und politische Maßnahmen dazu beitragen, den hohen Wasserverbrauch in der Landwirtschaft zu verringern.



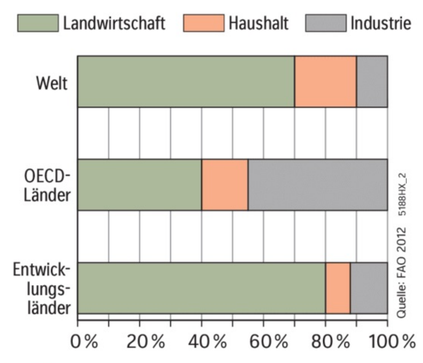
M6 Tomatenanbau im Vergleich (2019)

Der Wasserfußabdruck ist eine Kennzahl für die gesamte Menge an Wasser, die Staaten, Unternehmen oder Verbraucher in Anspruch nehmen. Er ist somit ein Indikator für die Nutzung des Rohstoffs Wasser. Dabei wird die Wassermenge, die für die Produktion eingesetzt wird, verdunstet und/oder verschmutzt wird, mit Informationen sowohl zur verbrauchenden als auch zur erzeugenden Region der Ware verbunden.

Deutschlands gesamter Wasserfußabdruck beträgt rund 117 Milliarden Kubikmeter Wasser pro Jahr. Das ist mehr als das Zweifache des Bodensees und entspricht einem täglichen Verbrauch von mehr als 3900 Litern pro Person. Im Vergleich: Weltweit liegt der Verbrauch bei knapp 3800 Litern pro Person und Tag. Mehr als die Hälfte des Wassers für die von uns benötigten Produkte und Güter stammt nicht aus Deutschland selbst. Das Wasser für importierte Güter wird als externer Wasserfußabdruck bezeichnet. Das meiste Wasser führt Deutschland über Agrargüter ein.

M7 Der Wasserfußabdruck

Ein Beispiel ist die Reduzierung des Anbaus von Früchten, die zwar einen hohen Gewinn bringen, jedoch nicht an die klimatischen Bedingungen vor Ort angepasst sind.
Politisch ist der Wunsch nach Nachhaltigkeit im Wassersektor zum Beispiel in der im Jahr 2000 verabschiedeten EU-Wasserrahmenrichtlinie verankert, nach der für Oberflächengewässer und für das Grundwasser in Europa ein „guter ökologischer Zustand“ erreicht werden soll. Auch in der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung ist der Schutz der Ressource Wasser im Nachhaltigkeitsziel 6 formuliert. So sollen bis zum Jahr 2030 alle Menschen Zugang zu sauberem Trinkwasser bzw. geeigneten Sanitärsystemen erhalten und wassergebundene Ökosysteme gleichzeitig als natürliche Lebensgrundlagen erhalten oder aufgewertet werden.



M8 Wasserverbrauch nach Sektoren

E↑ Trinkwasserversorgung und Trinkwasserschutz in Deutschland

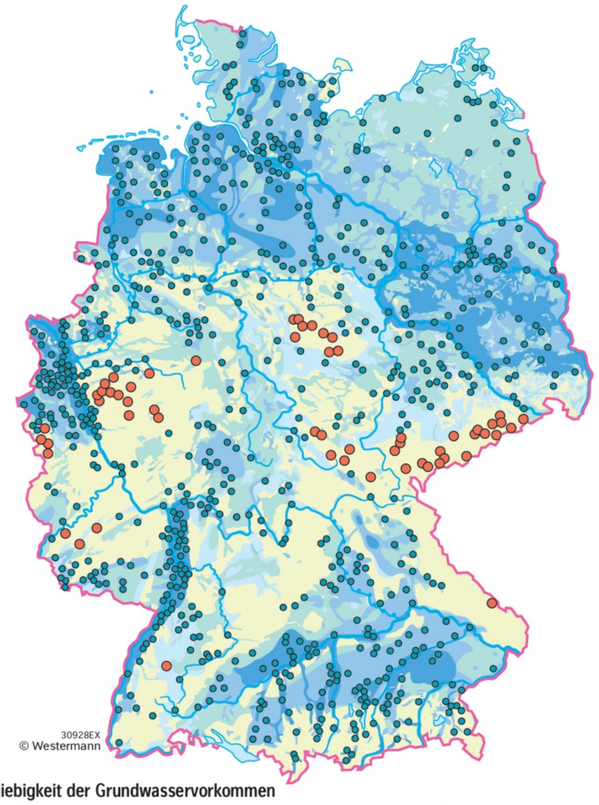
Trinkwasser ist in Deutschland eines der am besten geschützten und kontrollierten Lebensmittel. Die Qualität ist durch die Trinkwasserverordnung gesichert, die dafür sorgt, dass Trinkwasser gesundheitlich unbedenklich sowie frei von Verunreinigungen ist. Doch woher stammt unser Trinkwasser?

Nahezu die gesamte Bevölkerung Deutschlands wird durch die öffentliche Wasserversorgung mit Trinkwasser versorgt. Das Wasser zur Trinkwasseraufbereitung wird dabei überwiegend aus Grund- und Quellwasser gewonnen (M3), außerdem werden Uferfiltrat, See-, Talsperren- und Flusswasser als Rohwasser aufbereitet. Aufgrund der natürlichen Filterfunktion des Bodens bzw. des Gesteins werden nur wenige Schritte benötigt, um eine ausreichende Trinkwasserqualität zu erhalten.

Aufgrund unterschiedlicher Gesteinsarten im Untergrund steht Grundwasser in Deutschland jedoch nicht überall unbegrenzt zur Verfügung. Das größte zusammenhängende Gebiet mit Grundwasserressourcen ist die Norddeutsche Tiefebene, deren Untergrund sich durch mächtige Sande und Kiese auszeichnet. Viele Gebiete Deutschlands weisen jedoch poröse und zerklüftete Untergründe auf, wo Trinkwasser dann häufig über Talsperren gewonnen wird (M1).

Zur Wasserknappheit trägt unter anderem der rezente Klimawandel bei. Aufgrund der Zunahme an heißen und trockenen Sommern kommt es regional zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung und damit auch zu einer Zunahme von Konflikten um die Nutzung der vorhandenen Grundwasservorkommen. Bereits heute ist die Grundwasserneubildung in Teilen Ostdeutschlands und Bayerns vergleichsweise niedrig (M4).

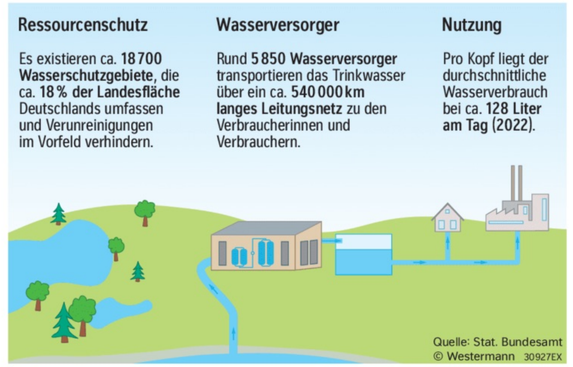
Für eine Gefährdung der Trinkwasserqualität sorgen Einträge aus der Landwirtschaft oder der Industrie, weshalb die Nutzung in Trinkwasserschutzgebieten eingeschränkt oder verboten ist. Die Einträge sind möglicherweise ursächlich für gesundheitsgefährdende Rückstände im Trinkwasser (M5, M6). Neuester Forschungsgegenstand sind Industriechemikalien (per- und polyfluorierte Alkylverbindungen, PFAS), deren Einfluss auf die Qualität des Trinkwassers noch nicht abschließend geklärt ist.



M1 Grundwasserneubildung in Deutschland

AUFGABEN

1. Aus welchen Quellen (z. B. Fluss, Gebirgsbach, See, Wasserleitung) würden Sie trinken? Begründen Sie Ihre Entscheidung.
2. Beschreiben Sie, wie die Trinkwasserversorgung in Deutschland gesichert ist (Text, M1 – M3, M7).
3. Begründen Sie, durch welche Einflussfaktoren Trinkwassermenge und -qualität gefährdet sind (M3 – M6).
4. Recherchieren Sie den aktuellen Stand zur Grund- und Trinkwassergefährdung durch Nitrat und Industriechemikalien (PFAS) sowie entsprechende Lösungsansätze (Text, Recherche, ▸ S. 228).
5. Erstellen Sie einen Text für einen Appell mit dem Titel „Recht auf sauberes Trinkwasser“, indem Sie die Informationen auf diesen Seiten und Ihre Rechercheergebnisse einbeziehen.

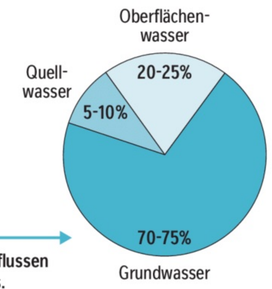


M2 Trinkwasserversorgung in Deutschland

- Verunreinigungen durch Abwasser der Industrie
- Verunreinigungen durch die Landwirtschaft
- Überdüngung des Bodens
- Pflanzenschutzmittel
- Altlasten von Mülldeponien
- Verunreinigungen durch Kühlwasser von Kraftwerken

Diese Verunreinigungen beeinflussen die Qualität des Grundwassers.

So wird der Wasserbedarf in Deutschland gedeckt:



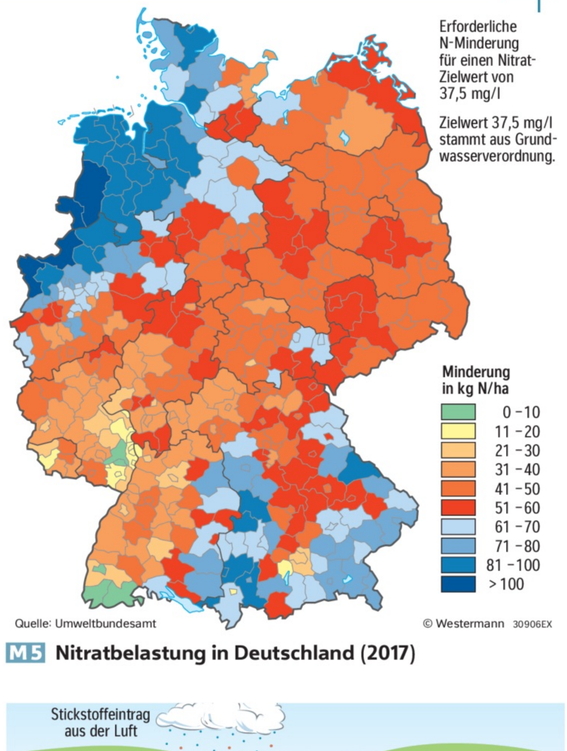
© Westermann 30905EX

M3 Schadstoffe im Trinkwasser

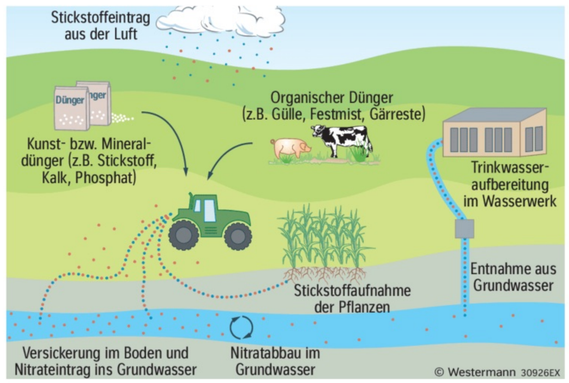
„Die Grundwasserstände in Bayern alarmieren Experten. […] [An 259 der 484 Grundwasser-Messstellen] sind Grundwasserstände ‚niedrig‘, ‚sehr niedrig‘ oder haben ‚einen neuen Niedrigstwert‘ erreicht. […] ‚Eine solche Quote ist absolut beunruhigend‘, sagt Professor Martin Grambow. […] Er ist Bauingenieur und Chef der Abteilung Wasserwirtschaft im Umweltministerium. […] Seit 2003, so haben sie es am Landesamt für Umwelt (LfU) dokumentiert, ist die Grundwasserneubildung ins Negative gekippt. Das jährliche Defizit beträgt ungefähr ein Sechstel. Dem Grundwasser in Bayern fehlen inzwischen mehr als drei Neubildungsjahre. ‚Um diesen Trend zu stoppen, bräuchten wir unbedingt zwei, besser noch drei überdurchschnittlich nasse Winter‘, sagt Grambow. ‚Aber die kriegen wir nicht. Wir bekommen nur einen mageren Winter nach dem anderen.‘ Wenn es schlecht um das Grundwasser steht, trifft das als allererstes die Trinkwasser-Versorgung. Denn das Trinkwasser [in Bayern] ist bis zu 99 Prozent Grundwasser.“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Gefährdung der Trinkwasserversorgung in Bayern?



M5 Nitratbelastung in Deutschland (2017)

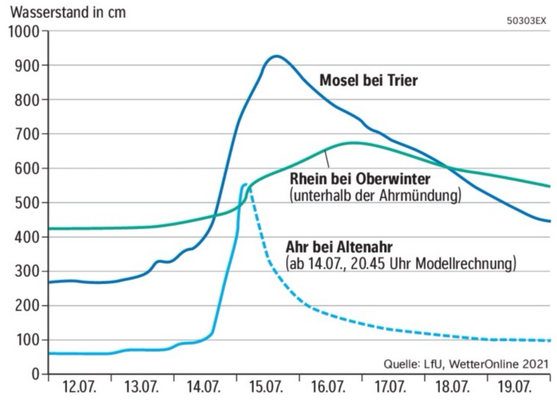


M6 Nitrat – Herkunft und Abbau

Schutzgebietszone 1 (Fassungsbereich)	Schutzgebietszone 2 (engere Schutzzone)	Schutzgebietszone 3 (weitere Schutzzone)
Schutzbereich: • 10 m um Brunnen • 20 m um Quellen • 30 m um Karstgrundwasser Verbot jeglicher Nutzung zum Schutz der Trinkwassergewinnungsanlagen, häufig ist selbst das Betreten untersagt	Schutzbereich: Linie, von der aus das Grundwasser mind. 50 Tage bis zur Trinkwassergewinnungsanlage benötigt Strenge Nutzungsregeln, da in dieser Zone jegliche Sickerflüssigkeit direkt ins Grundwasser gelangt, z. B.: • keine Bebauung • kein Verlegen von Leitungen • keine Weidewirtschaft	Schutzbereich: gesamtes Einzugsgebiet der Trinkwasserentnahme Nutzung nur unter Auflagen, z. B. • keine Verwendung von schwer abbaubaren Chemikalien • keine Verunreinigungen durch Straßen- oder Häuserbau

M7 Trinkwasserschutzgebiete

M1 Der Ort Dernau an der Ahr am Morgen des 15.07.2021



M2 Pegelstände von Mosel, Ahr, Rhein (12.–19.07.2021)

Hochwasser im Ahrtal – vom Naturereignis zur Naturkatastrophe

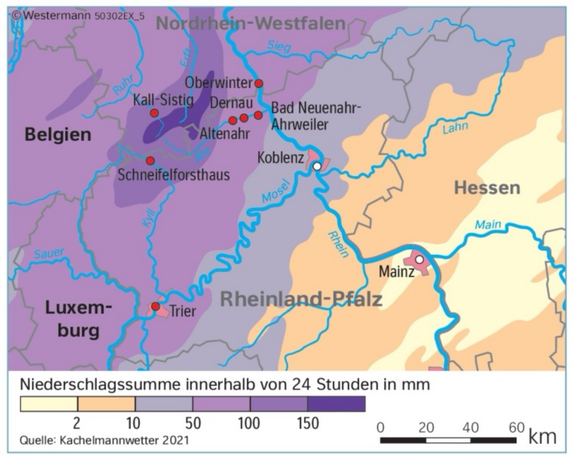
Die Wassermassen, die im Sommer 2021 Teile Westdeutschlands überfluteten, nahmen ein kaum dagewesenes Ausmaß an. Tief „Bernd" entlud ungewöhnlich große Regenmengen, es kam zur Katastrophe. Wie konnte es geschehen, dass selbst kleine Flüsse wie die Ahr ein derartiges Zerstörungspotenzial entwickelten?

Im Juli 2021 kam es in Teilen von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen zu extremem Starkregen mit stellenweise 100 bis 150 Millimeter Niederschlag innerhalb von 24 Stunden. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge zum Beispiel für den Ort Bad Neuenahr-Ahrweiler beträgt im ganzen Monat Juli 65 Millimeter. Die Folgen für die betroffenen Regionen waren Sturzfluten und massive Überschwemmungen, außerdem zerstörten die Wassermassen u. a. 600 Kilometer Bahnschienen, 90 Kilometer Autobahn, 62 Brücken, 33 Schulen und Kitas und zahlreiche Mobilfunkmasten. Vielerorts war die Gas-, Strom- und Wasserversorgung unterbrochen. Über 180 Menschen starben. Die Kosten zum Wiederaufbau allein der Infrastruktur belaufen sich Schätzungen des Bundesverkehrsministeriums zufolge auf etwa zwei Milliarden Euro. Auf den gleichen Betrag werden die Schäden an Häusern und sonstigem Privatbesitz geschätzt.

Der Wiederaufbau wird sich aufgrund der immensen Zerstörung über Jahre erstrecken. Diskutiert wird auch, ob bestimmte Lagen z. B. in Flussnähe überhaupt wieder bebaut werden sollen (M5, M6).

AUFGABEN

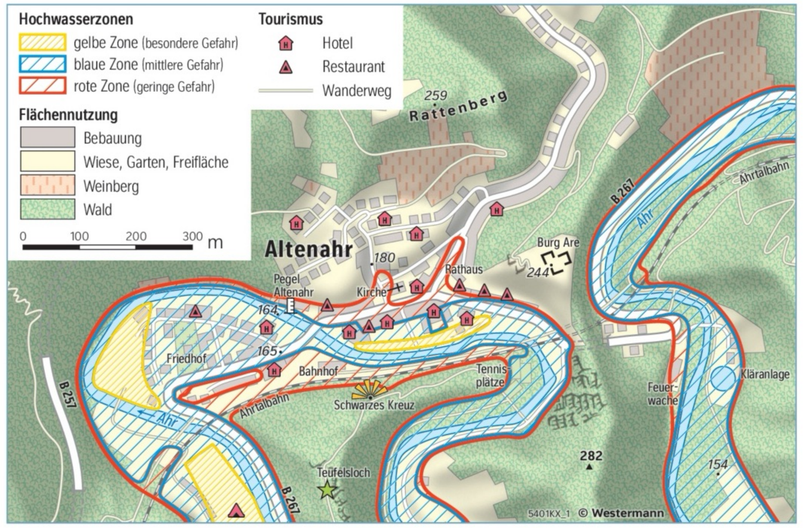
1. Vom Naturereignis zur Naturkatastrophe:
   a) Nennen Sie die Gründe, warum an der Ahr von einer Naturkatastrophe gesprochen wird.
   b) Analysieren Sie die Zusammenhänge, die zur Katastrophe führten und stellen Sie diese in einem Wirkungsgefüge dar (M1 – M4, ▸ S. 225).
2. a) Vergleichen Sie Wiederaufbaukonzept und Hochwassergefährdung von Altenahr (M5, M6).
   b) Formulieren Sie ethische Fragestellungen zur Hochwasserkatastrophe (z. B. zu Verantwortung, Wiederaufbau) und diskutieren Sie diese (▸ S. 240).
3. Recherchieren Sie, welche Regionen in Deutschland hochwassergefährdert sind (Atlas).



M3 Niederschläge am 14. Juli 2021

Ein singuläres Hochwasserereignis wie das an der Ahr kann zwar nicht durch aktuellen Klimawandel erklärt werden. Dennoch steigt dadurch die Wahrscheinlichkeit von Starkregen. Der Grund: Höhere Temperaturen können mehr Wasserdampf in der Atmosphäre mit sich führen. Messungen zeigen zudem, dass Großwetterlagen, die große Regenmengen begünstigen, in den letzten Jahren zugenommen haben.
Im Fall des Ahrhochwassers bewirkte auch das niederschlagsreiche Frühjahr, dass die Böden bereits relativ gesättigt waren und im Juli 2021 kaum noch Wasser aufnehmen konnten. Ursächlich für die hohen Niederschlagsmengen war u. a., dass das Tiefdruckgebiet „Bernd", das warme und feuchte Luft aus dem Mittelmeerraum mit sich führte, von zwei Hochdruckgebieten umzingelt und daher ortsfest war (blockierende Wetterlage).

M4 Hochwasserereignisse – Ursache rezenter Klimawandel?



M6 Hochwassergefährdung und Wiederaufbaukonzept in Altenahr

Um den betroffenen Gemeinden zu helfen, haben Bund und Länder Milliarden Euro an Wiederaufbauhilfen zugesagt. Doch es werden auch Stimmen gegen einen exakten Wiederaufbau laut. Starkregenereignisse würden im Rahmen des rezenten Klimawandels häufiger auftreten, so auch die Prognosen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im neuesten Bericht des IPCC.
Eine Maßnahme wäre – besonders in hochwassergefährdeten Gebieten – die Schaffung von Ausgleichsflächen, sogenannten Retentionsflächen. Retentionsflächen können in normalen Jahren zum Beispiel landwirtschaftlich genutzt werden. Bei Hochwasser jedoch dienen sie als Zwischenspeicher und Versickerungszone und könnten geflutet werden. So würden Gebäudeschäden verhindert und Gefahren für die Menschen reduziert oder sogar vermieden werden.
Um diese Pläne umzusetzen braucht es gesetzliche Sonderregelungen. Denn die Gelder von Bund und Ländern dürfen eigentlich nur für den exakten Wiederaufbau verwendet werden. Auch viele Versicherungen zahlen nur dann, wenn zum Beispiel das Haus an gleicher Stelle wieder instandgesetzt wird, unabhängig wie hochwassergefährdet die Lage zukünftig ist.

M5 Abwägungen für den Wiederaufbau

M1 Hochwasser in Passau (26.06.2013)

„Es geht um den Schutz von Menschenleben und um den Schutz von Eigentum und unschätzbaren Kulturgütern', sagte [Bundesforschungsministerin] Karlizcek [nach den Flutereignissen von 2021, ▸S. 138/139]. Es müsse möglich sein, Extremwetter noch genauer in den Regionen vorherzusagen und Risikopläne für Hochwasser und Hitze zu erstellen, erläuterte die Ministerin. Ziel müsse es sein, auch in kleineren Gemeinden verstärkt Vorsorge zu treffen, um im Ernstfall schnell und wirksam handeln zu können. Um belastbare Aussagen zu treffen, seien Daten aus hochaufgelösten Messungen und Modellierungen über das Klima erforderlich. Entsprechende Initiativen seien bereits gestartet. Als Beispiel nannte die Ministerin das Forschungsprojekt ‚ExTrass', bei dem Forschende eng mit Stadtverwaltungen und Katastrophenschutz zusammenarbeiten."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

*Bundesministerium für Bildung und Forschung

M2 Pläne des BMBF* zum Risikomanagement

Risikomanagement als Hochwasserschutz

Die Bewältigung der Gefahren und Risiken durch Hochwasser umfasst nicht nur die Vorbereitung auf ein anstehendes Hochwasser sowie die Gefahrenabwehr während eines Ereignisses. Da Hochwasser immer wieder enorme Schäden verursachen, ist es zudem notwendig, frühzeitig Maßnahmen zum Hochwasserschutz zu ergreifen (Hochwasserrisikomanagement).

Gerade in Passau wird deutlich, wie wichtig solche Maßnahmen sind. Hier kommt es immer wieder zu Hochwasserereignissen. Die Stadt ist von drei Flüssen umgeben (Inn, Donau und Ilz, M4). Damit ist das Potenzial hoch, dass der Pegel eines Flusses so stark ansteigt, dass das Wasser über die Ufer tritt. So staute im Sommer 2013, ausgelöst durch Dauerregen über mehrere Tage, der Inn durch seine hohe Fließgeschwindigkeit die Donau zurück, sodass diese über ihre Ufer trat und Teile der Stadt überschwemmte. Die Donau wiederum staute die Ilz zurück, sodass auch dieser Fluss über die Ufer trat.

Bis heute können die Hochwasser in Passau und ihre Gefahren nicht vollständig gebannt werden. Es gibt verschiedene Projekte zum Hochwasserschutz, die aktuell diskutiert werden. Bisher erfolgreich umgesetzte Maßnahmen sind unter anderem eine Staustufe in Österreich, zahlreiche Dämme, verbesserte Methoden zur Vorhersage und ein Frühwarnsystem des Wasserwirtschaftsamtes.

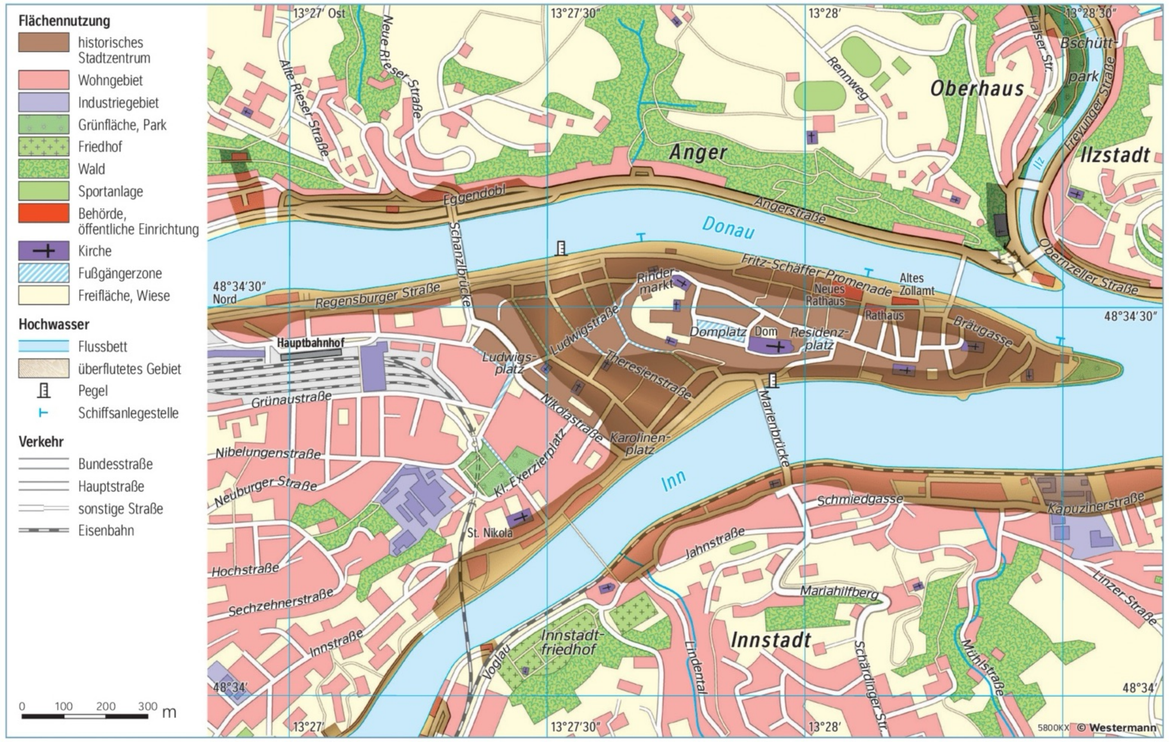
AUFGABEN

1. Schätzen Sie die Schadenshöhe des Hochwassers von 2013 und begründen Sie Ihre Vermutungen (M1).
2. Erklären Sie die besondere Anfälligkeit der Stadt Passau für Hochwasserereignisse (M1, M4).
3. Informieren Sie sich über das Forschungsprojekt „ExTrass" und beschreiben Sie dessen Ziele (M2, Recherche, ▸S. 228).

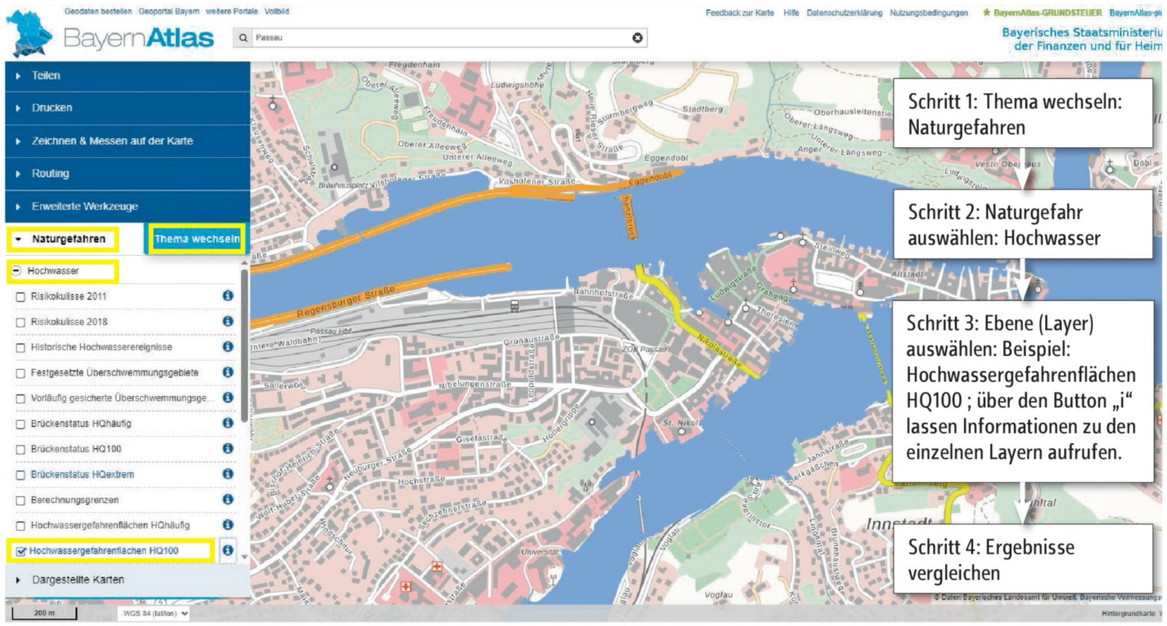
E↑ 4. Arbeit mit GIS: Vergleichen Sie „häufige" und „extreme" Wassertiefen der drei Flüsse mit den Hochwassergefahrenflächen, indem Sie die entsprechenden Ebenen über die Karte Passaus legen. Ziehen Sie mithilfe Ihrer Ergebnisse Rückschlüsse auf die Folgen für die Stadt (M5, Internet, ▸S. 227).

E↑ 5. Recherchieren Sie, ausgehend vom vorliegenden Raum, welche Möglichkeiten des Risikomanagements es für ein selbst ausgewähltes hochwassergefährdetes Gebiet gibt (M2 – M4, Atlas, Internet).

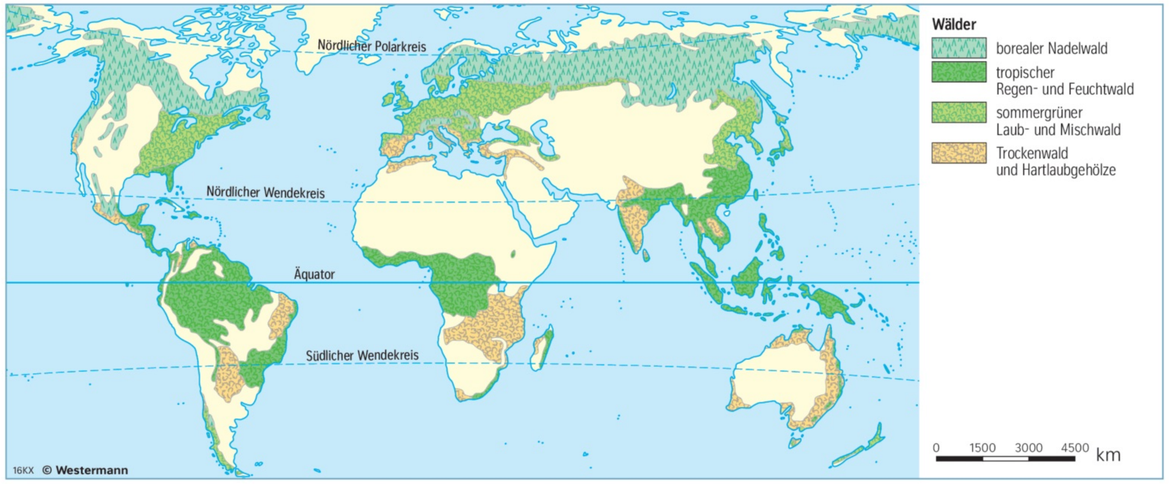
M3 Hochwasserschutzmaßnahmen (Auswahl)



M4 Passau – Flächennutzung und Hochwasser 2013



E↑ **M5** Das Geographische Informationssystem (GIS) „BayernAtlas"



M1 Verbreitung der Wälder weltweit

Wälder der Mittleren Breiten – Nutzung und Funktionen

Wälder sind die dominierende Vegetationsform der Biosphäre. Sie bedecken mit rund 3,45 Milliarden Hektar etwa ein Viertel der Landoberfläche der Erde und haben zahlreiche wichtige Funktionen (M4). Besonders der Mensch profitiert von der Ressource Wald, gefährdet aber zugleich diese Ökosysteme.

Die Wälder der Mittleren Breiten sind im Wesentlichen sommergrüne Laub- und Mischwälder. Sie bedecken heute eine Fläche von etwa 0,7 Milliarden Hektar und kommen auf fast allen Kontinenten vor (M1). In Deutschland ist etwa ein Drittel der Landfläche mit Wald bedeckt, die häufigsten Baumarten in den meisten Mischwäldern sind die Nadelbäume Fichte und Kiefer, gefolgt von den Laubbäumen Buche und Eiche.

AUFGABEN

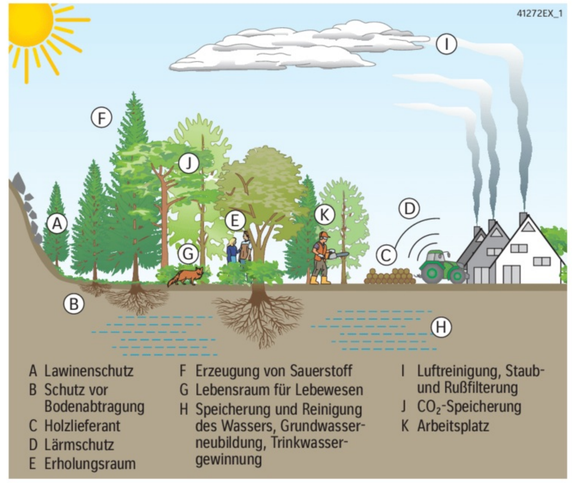
1. Beschreiben Sie die Verbreitung der Wälder der Mittelbreiten und begründen Sie die Vorkommen (M1, M2, Atlas).
2. Erklären Sie die Veränderung des Waldes durch die menschliche Nutzung (M3).
3. Beurteilen Sie die Bedeutung des Waldes im Hinblick auf seine Funktionen und als Ressource (M4, Text).
4. „Retten wir ihn, retten wir uns!“ Erstellen Sie zu diesem Titel ein Poster, das die besondere Bedeutung des Waldes thematisiert.

Die Wälder nicht nur in den Mittleren Breiten binden Kohlenstoff, erzeugen Sauerstoff, filtern Wasser und bieten Tieren, Pflanzen und anderen Organismen einen Lebensraum. Für den Menschen liefern sie den nachwachsenden, umweltfreundlichen und CO_2-neutralen Rohstoff und Energieträger Holz. Der Handel mit Holz erwirtschaftet in Deutschland rund vier Milliarden Euro pro Jahr und ist damit ein bedeutender Wirtschaftszweig. Besonders in strukturschwächeren ländlichen Räumen sichert er Arbeitsplätze. Über eine Million Beschäftigte leben in Deutschland direkt oder indirekt vom Wald. Das geschlagene Holz wird vielfältig genutzt. Abhängig von Holzsorte und Holzqualität kann es als Baumaterial, Brennstoff, Werkstoff, in der Papierherstellung sowie bei der Produktion von Verpackungen verwendet werden.

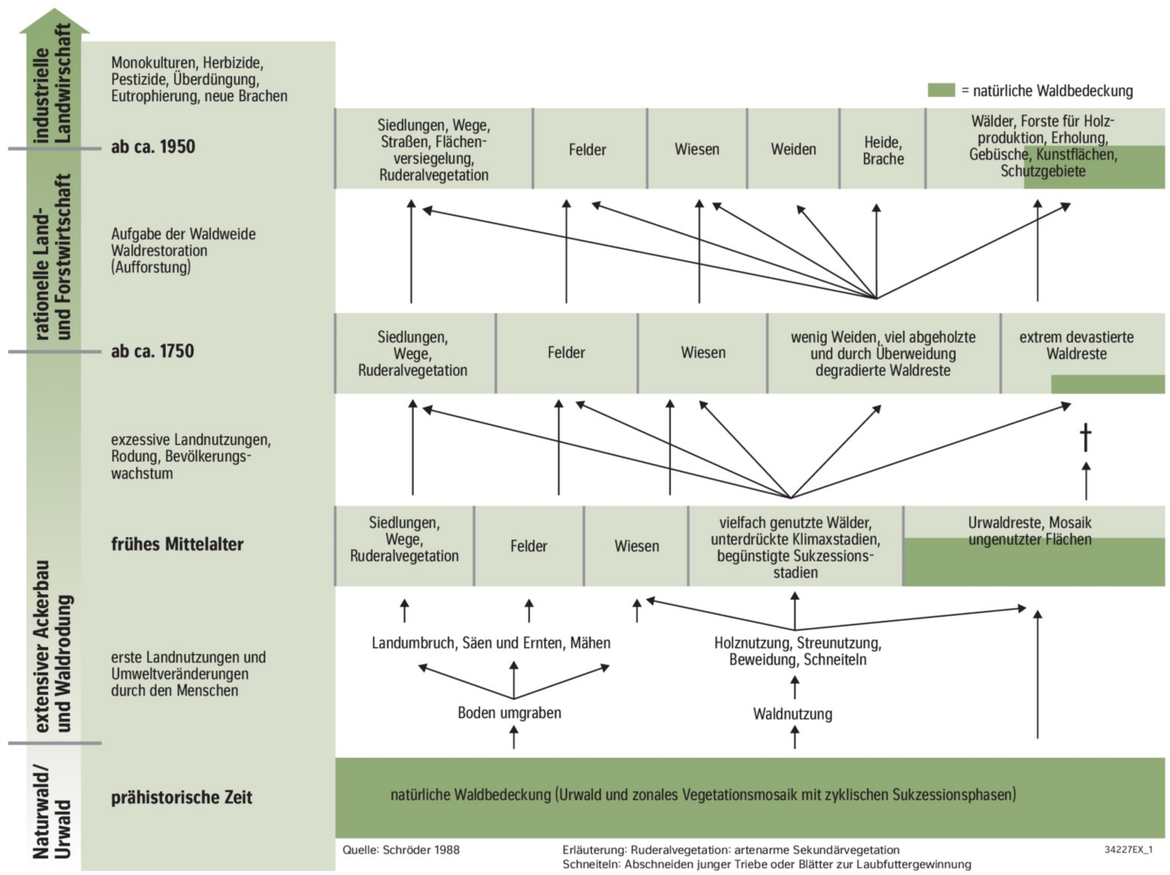
Neben seiner Nutzfunktion erfüllt der Wald auch eine Schutzfunktion. Im alpinen Bereich zum Beispiel sichert er vor Schnee- und Geröllawinen (▸ S. 169: M7). Zudem steigt die Bedeutung des Waldes als Erholungsraum.

Obwohl in der jüngeren Geschichte die Landnutzung und damit die erhebliche Veränderung des Ökosystems Wald zugenommen hat, ist der Anteil der Waldfläche in Zentraleuropa wieder gestiegen (M3). Aufforstungen und natürliche Wiederbewaldung brauchen über ein Jahrhundert Zeit, bis der Höhepunkt der Artenzusammensetzung wieder erreicht ist.

M2 Mischwaldbestand im Bayerischen Wald



M4 Funktionen eines Waldes



M3 Änderung der Vegetationsdecke in Zentraleuropa durch menschliche Nutzungen

M1 Blick auf den Brocken im Harz in Sachsen-Anhalt (2017 und 2022)

AUFGABEN

1 a) Beschreiben Sie die beiden Abbildungen in M1.
b) Erläutern Sie Ursachen, die diese Entwicklung ausgelöst haben könnten (Text, M2, M4).

2 a) Erklären Sie, warum Sigmar Wüst im Interview von einer Jahrhundertaufgabe spricht (M4).
b) Sammeln Sie Eigenschaften seiner aufgezählten Baumarten, die diese als zukunftsfähig auszeichnen (M3 – M5, Recherche, ▸ S. 228).

E↑ **3** Erstellen Sie ein Erklärvideo zum Thema „Der Wald im anthropogenen Klimawandel – Ursachen, Folgen und Maßnahmen“ (M1 – M5).

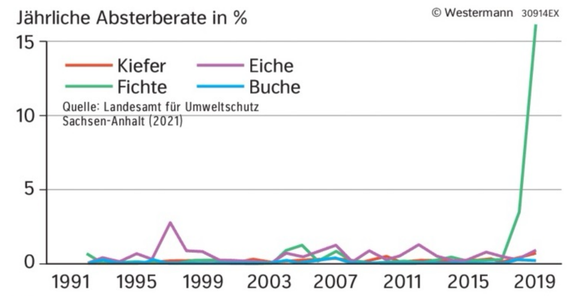
Wälder im Wandel

In den letzten Jahren ist besonders die Mitte Deutschlands von deutlichem Baumverlust gekennzeichnet. Allein Nordrhein-Westfalen verlor innerhalb von drei Jahren mehr als ein Viertel seiner Fichtenwälder. Wie muss angesichts des rezenten Klimawandels ein nachhaltiges Waldmanagement aussehen?

Zwischen 2018 und 2020 wurde ganz Mitteleuropa von mehreren ungewöhnlich starken Dürre- und Hitzeperioden getroffen. Dies schwächte die Bäume (**Trocken**- und **Hitzestress**), die Defizite in der Bodenfeuchte sind bis heute messbar. Gleichzeitig schuf die trockene Hitze ideale Bedingungen für Schädlinge wie den Borkenkäfer, sodass dieser sich stark vermehren konnte. Während sich Laubbäume wie die Eiche nach einem Insektenbefall wieder erholen können, gilt dies für viele Nadelbäume nicht. Die Bäume sterben ab oder fallen großräumigen Notfällungen zum Opfer. Kahlschläge sind oft der letzte Ausweg. So wird Schädlingen die Nahrung entzogen und eine weitere Ausbreitung verhindert. Ursächlich ist auch, dass nach dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland überwiegend Fichten als wichtigster Holzlieferant aufgeforstet wurden, nicht selten standortfremd. Sie wuchsen schnell, allerdings haben diese Wälder heute eine entsprechend ähnliche Alters- und Wuchsstruktur und sind als Monokultur wenig widerstandsfähig. Als Flachwurzler sind Fichten zusätzlich anfällig für Windschäden, abgestorbene Bäume ein idealer Nährboden für Waldbrände.

Folgen durch den rezenten Klimawandel

Als Folge des rezenten Klimawandels verschieben sich in Deutschland die Niederschläge in die Wintermonate. Prognosen zufolge werden 2050 in den Sommermonaten 40 Prozent weniger Niederschläge fallen. Gleichzeitig steigen die Jahresdurchschnittstemperaturen. Dadurch werden Hitze- und Trockenstress der Bäume weiter zunehmen. Bei zu wenig Wasser reagieren Bäume mit Blattabfall, geringerer Photosynthese und letztlich verminderter Aufnahme von Kohlenstoffdioxid. Lichtere Bäume bedeuten auch ein Nachlassen der kühlenden Wirkung des Waldes und damit eine Veränderung des Mikroklimas. Die Austrocknung des Waldes wird beschleunigt, die Waldbrandgefahr und die Gefahr eines Schädlingsbefalls nehmen zu – mit möglicherweise großen Einbußen für die Waldwirtschaft. Da durch den rezenten Klimawandel auch die Wahrscheinlichkeit von starken Stürmen steigt, werden wirtschaftliche Schäden auch durch sogenannten Windwurf wahrscheinlicher.
Letztendlich verringert sich die Biodiversität im Wald. Auch wenn neue Baumarten gepflanzt werden, können nicht immer sofort alle Ökosystemfunktionen übernommen werden.



M2 Absterberate nach Baumarten in Sachsen-Anhalt

M3 Vorteile von Tiefwurzlern gegenüber Flachwurzlern

M5 Gerader Wuchs der Atlaszeder (Herkunft: Marokko)

Vor welchen Herausforderungen steht der Wald derzeit?
Siegmar Wüst: Vermehrte Stürme, Hitze- und Dürreschäden als Folge des rezenten Klimawandels sowie Borkenkäferbefall haben in Deutschland eine großflächige Zerstörung vieler Fichtenwälder, z. B. im Harz oder Fichtelgebirge, verursacht, die mit weitreichenden Folgen für die Bodenbeschaffenheit verbunden sind. Die Erosion hat große Angriffsflächen, sobald der Boden nicht mehr befestigt ist, und der Waldboden ist in großer Gefahr, zumal auch die Starkregenereignisse in letzter Zeit zugenommen haben.
Aber nicht nur Fichtenwälder leiden unter Trockenheit und Hitze. Trocknet der Boden aus und sinkt der Grundwasserspiegel, dann sterben auch Laubbäume, selbst ältere mit großem Wurzelwerk.
Ein weiteres Problem, das zumindest für eine Entmischung der Wälder sorgt, ist der Wildverbiss durch Schalenwild, also Rehe, Hirsche und im Hochgebirge auch Gämsen. Denn wir haben nicht mehr das natürliche Gleichgewicht zwischen diesen Pflanzenfressern und den großen Beutegreifern wie Luchs, Wolf und Bär, welches herrschte, bevor der Mensch letztere bis hin zur Ausrottung dezimierte. Und manche Baumarten wie zum Beispiel die Tanne oder die Eichen schmecken dem Schalenwild besonders gut, sie können vielmals nicht (nach-)wachsen und fehlen dem Wald als wertvolle Mischbaumarten.
Und diese Herausforderungen für den Wald treffen natürlich auch uns Menschen, z. B. durch Bodenerosion und Lawinen, Grundwasserabsenkung sowie Holzknappheit.

Wie funktioniert in Ihren Augen das Waldmanagement der Zukunft?
Siegmar Wüst: Die großen Schadereignisse in der jüngsten Vergangenheit haben uns gezeigt, dass die oft in Reinbeständen bewirtschafteten Wälder keine Zukunft mehr haben. Sie bergen im rezenten Klimawandel ein hohes Risiko. Ziel muss es sein, große Kahlflächen zu vermeiden, um all die Waldfunktionen, nicht nur für uns Menschen, zu sichern. Da niemand genau weiß, welches Klima in 100 Jahren bei uns herrschen wird, empfehlen Forstwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler verschiedene Baumarten in Mischbeständen anzubauen, welche erwarten lassen, Hitze und Trockenheit, aber auch Stürme und kalte Winter zu ertragen. Für den Fall, dass eine Baumart durch z. B. Schädlinge oder Trockenheit aus einem Gebiet verschwindet, verbleiben andere Arten. Hauptsächlich und wo möglich sollte dieser neue Wald durch Naturverjüngung entstehen, aber auch das Pflanzen von Baumarten, auch aus anderen Regionen, in denen heute jenes Klima herrscht, das bei uns erwartet wird, halte ich für eine geeignete Strategie. Dabei ist darauf zu achten, dass die jungen Bäume nicht vom Schalenwild verbissen werden. Bei der großen Fläche, die umgebaut werden muss, halte ich Zäune und den Einzelschutz von Pflanzen nicht für zielführend. Nur durch angepasste Wildbestände mit engagiert und verantwortungsvoll ausgeübter Jagd wird ein flächendeckender Umbau unseres Waldes möglich sein.

Interview mit Siegmar Wüst, Leiter des Walderlebniszentrums Grafrath im Forstlichen Versuchsgarten. Der Versuchsgarten wurde Ende des 19. Jahrhunderts angelegt, um die Eignung fremdländischer Baumarten für die heimische Forstwirtschaft zu beurteilen.

M4 Nachhaltiges Waldmanagement – Expertenteninterview

M1 **Flächen für die Photovoltaikanlagen entlang einer Bahnstrecke in Oberbayern?**

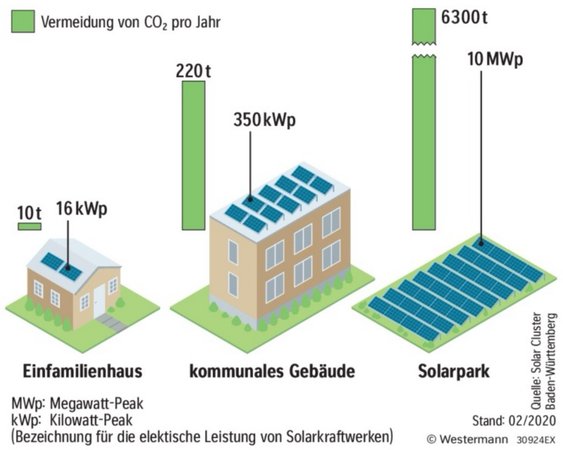
E↑ Konkurrenz um Fläche – Beispiel Ausbau erneuerbarer Energien

Große Teile der Mittleren Breiten sind dicht besiedelt, besonders in Deutschland. Um die Ressource Fläche wird daher mitunter heftig gestritten.

Der Ausbau der Stromgewinnung aus erneuerbaren Quellen soll in Deutschland beschleunigt werden. Für die benötigte Fläche werden für den Bau von Solarparks Flächen entlang von Autobahnen und Bahnlinien priorisiert (M2). Das bedeutet: Genehmigungsverfahren werden deutlich vereinfacht. Dies stellt manche Gemeinden vor große Diskussionen: Energiegewinnung um jeden Preis?

„Ziel dieses Gesetzes ist insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes die Transformation zu einer nachhaltigen und treibhausgasneutralen Stromversorgung, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht."
In der Gesetzesbegründung zur Privilegierung wird darauf verwiesen, dass der Streifen entlang von Autobahnen und Schienenwegen durch optische und akustische Belastungen vorgeprägt sind, so dass PV-Anlagen dort ohne die Durchführung eines Planverfahrens ermöglicht werden sollen."

M2 **Auszug aus dem EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) 2023**



M3 **Beitrag von Photovoltaik zur Reduktion von CO_2**

AUFGABEN

1. Gedankenexperiment: Sie besitzen ein Stück Land im oberen Bildausschnitt (M1). Entwickeln Sie hierfür Nutzungsmöglichkeiten.
2. Werten Sie den Zeitungsartikel aus und fassen Sie die zentralen Punkte zusammen (M4).
3. „Flächenkonkurrenz bietet Chancen." Recherchieren Sie nach Beispielen eines gelungenen Flächenmanagements beim Thema „Energiegewinnung" und stellen Sie dieses vor (M5, Internetrecherche).
4. Führen Sie auf Grundlage der Materialien eine Pro-und-Kontra-Diskussion zum Thema „Saubere Energie vs. Landschaftsschutz" durch (M2 – M5, ▸ S. 235).

„Vier Solarparks sind in Kottgeisering bereits entstanden – die Lage am Südhang und die querende Bahnlinie machen das Dorf attraktiv für Investoren, die auf Photovoltaik (PV) setzen. […]

Weitere Anlagen sind im Gespräch. Trotzdem will man in der Solarpark-City die Balance halten: zwischen Notwendigkeiten der Energiewende und dem Ortsbild. Ein Dutzend an der Straße nach Brandenberg wild geparkter Autos sind an klaren Tagen keine Seltenheit. Der Spazierweg zwischen der Bahnlinie und dem Naturwaldreservat Schönwald Richtung Türkenfeld ist längst kein Geheimtipp mehr. Denn der Ausblick taugt für eine kitschige Ansichtskarte […]. Dass gelegentlich Züge durch diese Kulisse gleiten, stört überhaupt nicht.

Zum Störfaktor – zumindest für jene, die der Energiegewinnung nicht alles bedingungslos unterordnen wollen – wird die Bahnlinie dennoch. Denn gemäß dem Erneuerbare-Energien-Gesetz, kurz EEG, zählen entlang von Schienenwegen (und Autobahnen) beiderseits je 200 Meter zur ‚förderfähigen Flächenkulisse' für Photovoltaik-Freiflächenanlagen.

Will heißen: Die Anlagen können nach einer Flächennutzungsplanänderung und einem qualifizierten Bebauungsplanverfahren zügig realisiert werden. Vier Anlagen sind in dieser Konsequenz ober- und unterhalb der Bahn bereits entstanden, die in der Summe das Dorf zum Landkreis-Spitzenreiter bei den PV-Flächen macht.

Eine Gesetzesnovelle, die am 1. Januar 2023 in Kraft trat, erweitert die förderfähige Fläche um mehr als das Doppelte. Künftig werden also in einer Korridor-Breite von einem Kilometer PV-Anlagen ohne größere Probleme möglich sein. Die erste Anfrage für eine rund 6,3 Hektar große Anlage in einer Entfernung bis zu 500 Metern hat erfolgversprechend den Klimaausschuss des Gemeinderates passiert […].

Nach dem Motto ‚wenn schon, denn schon' will Bürgermeister Andreas Folger […] aber in diesem Fall abwarten: Ob nämlich der Grundstücksbesitzer, dem der Acker zwischen Bahnlinie und der fraglichen Fläche gehört, ebenfalls auf den Zug aufspringt und eine Flächennutzungsplanänderung für eine Gesamtfläche von dann über elf Hektar angestrebt werden soll.

‚Wir sind noch in Verhandlung mit dem Grundstücksbesitzer, aber ich bin zuversichtlich, dass es eine Lösung gibt', erklärt Fred Garside auf Tagblatt-Nachfrage. Der Geschäftsführer des international tätigen Unternehmens ‚MSE Solar' hat bereits eine PV-Fläche in Kottgeisering entwickelt.

Bürgermeister Folger hatte sich damals bei der Beratung der jetzt fertiggestellten PV-Anlagen dafür ausgesprochen, die Wirkung der Paneele in der Realität zu prüfen. ‚Man muss feststellen, dass es schon einen Eingriff in das Landschaftsbild darstellt', so Folger gegenüber dem Tagblatt, ‚aber angesichts der Energiediskussion sollten wir ein nächstes Projekt wagen.' […]

Die Attraktion für Photovoltaik-Anlagen hat Kottgeisering also der das Gemeindegebiet durchquerenden Bahnlinie und seiner Lage am Südhang zu verdanken. Eine flächenmäßig ähnlich große Potenzialfläche kam kürzlich zum Jahresbeginn 2023 noch hinzu und wurde von den PV-Anlagen-Investoren bisher wohl noch gar nicht erkannt: Mit der Novellierung des EEG-Gesetzes werden auch (ehemalige) Moorflächen in die förderfähige Flächenkulisse aufgenommen. Am Rande des Ampermooses gelegen, hätte das Dorf da einige Hektar zu bieten. Doch diese PV-Module auf ehemaligen Moorflächen würden störend zwischen den Dorfbewohnern und dem oben beschriebenen Ansichtskartenmotiv liegen – und nicht, wie schon bestehende Solarparks, im ‚Hinterhof' der Gemeinde. […]"

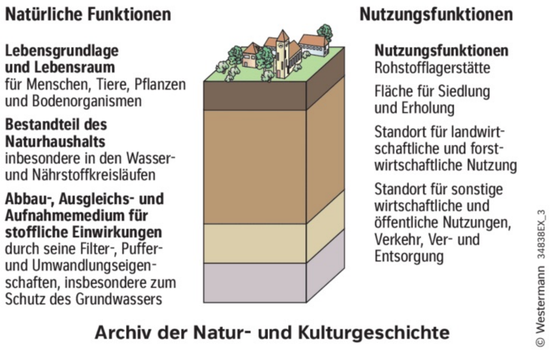
Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 **Weiterhin gelungenes Flächenmanagement? – Pläne zum erneuten Ausbau von Solarflächen in Kottgeisering**

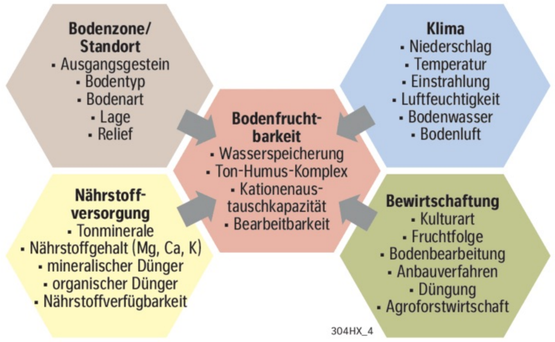
Der Bau von Photovoltaikanlagen auf Grünflächen sorgt immer wieder für Kritik. Zusätzlich zum Landschaftsschutz werden auch Stimmen laut, die vor einem unwiederbringlichen Verlust an landwirtschaftlichen Flächen warnen. Ackerland solle der Nahrungs- und Futtermittelproduktion dienen. Außerdem müsse für Zufahrten Fläche versiegelt werden. Eine teilweise Abhilfe könnte Agri-Photovoltaik schaffen. Diese Technologie wurde vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) entwickelt. Neben Strom werden auf den Flächen so auch Getreide, Obst, Gemüse oder Sonderkulturen wie Hopfen produziert. Für Mäharbeiten können zum Beispiel die Anlagen umgeklappt werden. Die Vorteile: Landwirtschaftliche Betriebe vermindern zum einen die Gefahr von Ernteausfällen durch zusätzliche Einnahmen aus der Verpachtung. Zum anderen schützen – je nach Ausrichtung – die Anlagen vor Starkregen, Sonne (Austrocknung) oder Winderosion. Auch eine Beweidung durch Tiere unter den Anlagen ist möglich.

Hopfen-Agri-Photovoltaikanlage in Bayern

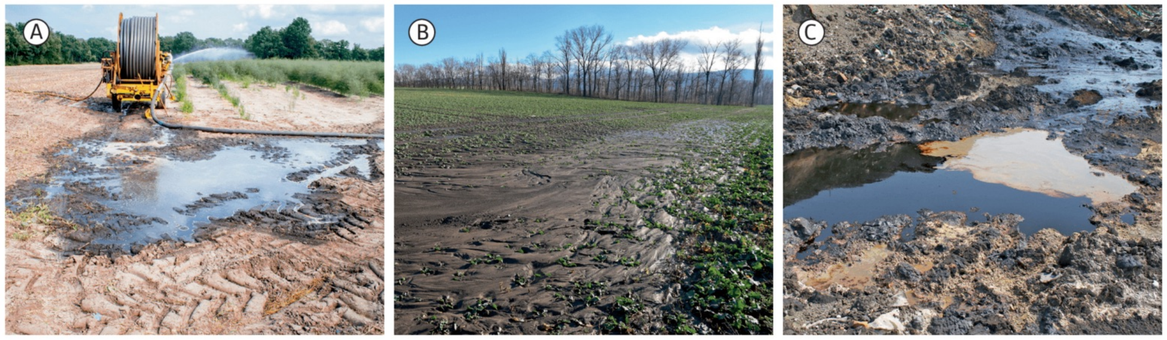
M5 **Innovatives Flächenmanagement – Agri-Photovoltaik-Anlagen**



M1 Funktionen eines Bodens



M2 Einflussfaktoren auf die Bodenfruchtbarkeit (▸ S. 219)



M3 Gefährdung von Böden – Formen der Bodendegradation (Auswahl)

E↑ Böden in der Heimatregion

Böden haben eine Vielzahl von Funktionen im System Erde und bilden in ihrer Gesamtheit die Pedosphäre. Sie bieten die Lebensgrundlage für die Pflanzen- und Tierwelt und sind oft Voraussetzung dafür, dass sich der Mensch mit sauberem Trinkwasser (Filterfunktion) und landwirtschaftlichen Produkten versorgen kann.

Böden bestehen aus festen anorganischen und organischen Bestandteilen, Wasser und Luft sowie aus Organismen, die in ihnen leben. Böden können unterschiedlich alt sein. In Regionen, die stark von den letzten Kaltzeiten geprägt waren (z. B. Alpenvorland), sind die Böden jedoch maximal 10 000 Jahre alt.

AUFGABEN

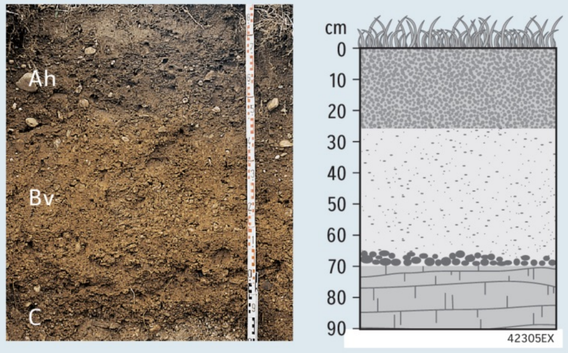
1. Beschreiben Sie die Funktionen eines Bodens (M1).
2. Fassen Sie die Entwicklung eines Bodes in Form einer Mindmap zusammen (Text, ▸ S. 225).
3. Erläutern Sie die Einflussfaktoren auf die Bodenfruchtbarkeit (M2, ▸ S. 219: M3).
4. a) Analysieren Sie das Bodenprofil der Braunerde (M4, M5, ▸ S. 218).
   b) Recherchieren Sie die Standorte der Braunerde in Bayern (Atlas).
   c) Erstellen Sie für zwei weitere Bodentypen in Bayern einen Steckbrief (Internetrecherche, Atlas).
5. a) Erklären Sie, wodurch Böden in Bayern gefährdet sind (M3). Recherchieren Sie zusätzliche Gefahren.
   b) Diskutieren Sie mögliche Bodenschutzmaßnahmen (M6).
6. Vergleichen Sie die Ergebnisse aus Aufgabe 4 mit den Eigenschaften der Böden der Tropen (▸ S. 61: M4, S. 70: M4).

Genese von Böden

Böden entstehen durch Verwitterung von Locker- oder Festgestein sowie Zersetzung von organischem Material. Der Prozess der Bodenbildung wird bestimmt durch seine Dauer, das Klima, das Relief und den sich entwickelnden Bodenorganismen.
Das aus Mineralen und Gesteinen bestehende anorganische Material wird meist durch Verwitterungsvorgänge zerkleinert. In chemischen Prozessen werden unter Freisetzung von Nährstoffen (Mineralsalzen) daraus **Tonminerale** gebildet.
Die abgestorbene organische Substanz aus Pflanzen und Tieren wird hingegen durch Bodenlebewesen in **Huminstoffe** umgewandelt (**Humifizierung**). Den vollständigen Abbau organischer Substanz zu anorganischen Stoffen bezeichnet man als **Mineralisierung**. Endprodukte dieser beiden Umwandlungsprozesse sind **Ton-Humus-Komplexe**. Diese besitzen aufgrund ihrer geringen Größe die Eigenschaft, Pflanzennährstoffe zu binden und auszutauschen. Sie sind für die Bodenfruchtbarkeit (M2) bedeutsam.
Gleichzeitig führen Verlagerungsprozesse (▸ S. 61: M3) zur Entstehung von **Bodentypen** mit charakteristischen **Bodenhorizonten** (M2). Ein typischer Bodentyp in Bayern ist beispielsweise die **Braunerde** (M4, M5, ▸ S. 218/219).

Gefährdung von Böden

Böden unterliegen heute einem hohen Nutzungsdruck. Neben der Gewinnung von Agrarprodukten und Energierohstoffen durch die Landwirtschaft dienen sie u.a. als Standorte für Siedlungen, Industrie und Infrastruktur (M1). In Deutschland werden täglich etwa 55 Hektar als Siedlungs- und Verkehrsfläche neu ausgewiesen (Stand 2023). Bis 2030 soll diese Zahl auf 30 Hektar pro Tag gesenkt werden. Auch Schadstoffeinträge durch die Industrie oder unsachgemäße landwirtschaftliche Bearbeitung gefährden Böden und machen Bodenschutzmaßnahmen notwendig (M6).



Ah – humoser Oberboden, der durch einen hohen Humusanteil dunkel gefärbt ist

Bv – verbraunter, verlehmter Horizont, mit noch nicht zersetzten Gesteinsbrocken (Nährstoffreserven); kaum erkennbarer Übergang zum C-Horizont

C – meist mineralreiches Silikatgestein als Ausgangsgestein

Die Braunerde ist vornehmlich an flachgründige Sedimente gebunden und tritt daher vermehrt in Hanglagen auf. Sie entsteht aus verschiedenen Ausgangsgesteinen und kann sich nur entwickeln, wenn der Boden kalkfrei ist. Eisenminerale werden gelöst und wandeln sich durch den Kontakt mit Luft und Wasser um, danach oxidieren sie und verbraunen dadurch. Der Boden erhält hier seine typische braune, manchmal rötliche oder gelbliche Farbe. Aufgrund der großen Variationsbreite des Ausgangsgesteins ist die Bodenfruchtbarkeit sehr standortabhängig. So können sich über Basalt humus- und nährstoffreiche Braunerden bilden, die ackerbaulich intensiv genutzt werden. Der tiefgründige und lehmige Bodentyp kann viel Wasser für die Pflanzen speichern, die flachen, sandigen oder steinreichen Vertreter nur wenig. Entsprechend unterschiedlich reagieren sie auf eingetragene Schadstoffe.

M4 Braunerde – typischer Bodentyp der Heimatregion

Eigenschaften		typische Prozesse
Wasserspeicherung	mittel bis gut	• Humusanreicherung • Verbraunung/ Verlehmung • Tonmineralneubildung
Ton-Humus-Komplex	mittel bis gut	
Kationenaustauschkapazität *	mittel bis gut	
Bearbeitbarkeit	mittel bis gut	
Bodenfruchtbarkeit	mittel bis gut	

Verbreitung	Nutzung
Feuchte Mittelbreiten, vermehrt Hanglagen	Ackerbau, Grünland, Wald

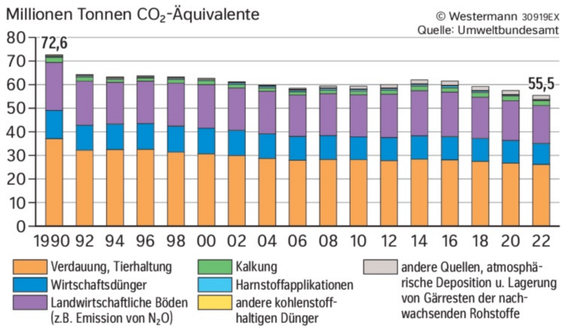
* Fähigkeit, wie gut ein Boden Nährstoffe binden, vor Auswaschung schützen und bei Bedarf wieder abgeben kann

M5 Merkmale einer Braunerde

Um die Nutzung und Verfügbarkeit der Böden für zukünftige Generationen zu erhalten, muss der Boden geschützt und nachhaltig genutzt werden. In Deutschland ist am 1. März 1999 das Bundesbodenschutzgesetz in Kraft getreten. Neben der Vermeidung von „schädlichen Bodenveränderungen" steht u.a. die Sanierung kontaminierter Böden und verunreinigter Gewässer durch Altlasten im Vordergrund. Aber auch Regelungen zur Versiegelung und Erosion sind darin enthalten.
Letztendlich enthält Bodenschutz immer ein Zusammenarbeiten mehrerer Akteure, da bei der Nutzung der begrenzten Ressource Boden unterschiedliche Interessen aufeinandertreffen (z. B. Landwirtschaft, Industrie, Verkehr).

M6 Bodenschutzmaßnahmen

M1 Karikatur



M2 Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft nach Kategorien (1990 – 2022)

AUFGABEN

1. Interpretieren Sie die Karikatur (M1, ▸S. 234).
2. Analysieren Sie die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft (M2, Text).
3. Erstellen Sie ein Wirkungsgefüge zu den klimawandelbedingten Veränderungen in der Landwirtschaft (M4).
4. Entwickeln Sie Anpassungsstrategien der Landwirtschaft an die veränderten Bedingungen (M4, Recherche, ▸S. 228).
5. Bewerten Sie die Potenziale des Humusaufbaus sowie des *Urban Farming* (Text, M5 – M7).
6. Recherchieren Sie zu den Klimaschutzmaßnahmen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (M3). Fassen Sie Ihre Ergebnisse in Form eines Lexikoneintrags zusammen.
7. Klimaschutz und Klimaanpassung in der Landwirtschaft: Diskutieren Sie mögliche Widersprüche.

E↑ Die Rolle der Landwirtschaft im rezenten Klimawandel

Die Landwirtschaft nimmt im Rahmen des rezenten Klimawandels eine besondere Rolle ein. Sie trägt zum Ausstoß von Treibhausgasen bei (M2) und ist gleichzeitig den Folgen der rezenten Klimaänderungen ausgesetzt (M4). Doch wie kann die Landwirtschaft sich dem rezenten Klimawandel anpassen und welche Möglichkeiten hat sie, selbst zum Klimaschutz beizutragen?

Obwohl die Landwirtschaft für nur 7,4 Prozent aller Treibhausgasemissionen in Deutschland verantwortlich ist (Stand: 2022), kommt ihr beim Klimaschutz eine wichtige Rolle zu. Denn es werden dort nicht nur CO_2, sondern auch die klimaschädlicheren Treibhausgase Methan (CH_4, Faktor 25 im Vergleich zu CO_2) und Lachgas (N_2O, Faktor 300) ausgestoßen. Methan stellt etwa 62 Prozent, Lachgas knapp 34 Prozent aller Emissionen in der Landwirtschaft. Dabei sind die Viehhaltung und eine unsachgemäße Düngung (Überdüngung) Hauptquellen für Methan und Lachgas.

Möglichkeiten des Klimaschutzes

Allein der Anbau von Pflanzen bewirkt keinen Klimaschutz. Denn die Menge an CO_2, die durch Anbauprodukte gebunden wird, wird bei Verwertung durch Menschen und Tiere sowie durch die Verbrennung in Biogasanlagen wieder freigesetzt.
Bedeutend für den Klimaschutz ist zum Beispiel der Humusanteil im Boden (M6). Humus kann große Mengen CO_2 speichern. Mithilfe von Maßnahmen wie einer vielfältigen Fruchtfolge (Wechsel zwischen humuszehrenden und humusmehrenden Kulturen), Zwischenfruchtanbau, organischer Düngung und angepasster Bodenbearbeitung kann der Humusgehalt langfristig erhalten und gefördert werden.

- Senkung der Stickstoffüberschüsse, Verbesserung der Stickstoffeffizienz,
- Ausbau des Ökolandbaus,
- Verringerung der Treibhausgasemissionen in der Tierhaltung,
- Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft,
- Erhalt von Dauergrünland,
- Schutz von Moorböden, einschließlich Reduzierung der Torfverwendung in Kultursubstraten,
- Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder,
- nachhaltige Ernährungsweisen einschließlich Vermeidung von Lebensmittelabfällen.

M3 Klimaschutzmaßnahmen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (Auswahl)

„Die Ertragssicherheit wird durch die Zunahme von extremen Witterungen gefährdet. Hitze, Kälte (Spätfröste), Nässe und Trockenheit können zu erheblichen Ernteausfällen führen – vor allem wenn sie während der Blühphasen und der Fruchtbildung auftreten. Starkregen, Hochwasser und Hagel können die Ernte ebenso beeinträchtigen wie eine erhöhte Spätfrostgefahr. Die milderen Winter begünstigen Pflanzenkrankheiten und Schädlinge.
Der Zustand der Böden wird sich auch infolge des Klimawandels verändern. Zunehmende Trockenheit im Sommer und höhere Niederschläge vorwiegend im Winterhalbjahr sowie Extremereignisse sind eine große Herausforderung für die Bewirtschaftung. Längere sommerliche Trockenperioden können den Bewässerungsbedarf landwirtschaftlicher Nutzflächen erhöhen. Stärkere und häufigere Niederschläge steigern voraussichtlich den Bodenabtrag bis 2050 um bis zu 16%. Deshalb sind in Zukunft die erosionsvermindernde Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen und die Humuserhaltung wichtig. Der Humus wirkt nicht nur wasserspeichernd sondern auch Gefüge schaffend und stabilisierend. Er fördert damit auch die Wasserstabilität der Bodenaggregate.
Selbst das Unkraut zeigt eine Verschiebung des Artenspektrums. So haben die im Feldbau schwer zu bekämpfenden Pflanzen wie Ampfer und Ackerdistel bei längeren Trockenperioden wegen ihres tiefgreifenden Wurzelwerks Konkurrenzvorteile gegenüber den flachwurzelnden Nutzarten wie etwa Kartoffeln.
Bei der Tierhaltung kann mit zunehmender Hitze die Leistung von Nutztieren (Milch, Fleisch) sinken. Auf die Landwirte kommen erhöhte Aufwendungen für die Kühlung geschlossener Stallsysteme zu. Eine Zunahme der von Insekten übertragenen Krankheitserreger ist heute schon erkennbar [...]. Zudem können [sich] nicht heimische Insekten [...] ausbreiten und zu neuen Überträgern für Krankheiten werden."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Klimafolgen und Anpassung in der Landwirtschaft

Kohlenstoffspeicher Humus

„Der Humusaufbau in der Landwirtschaft kann in Sachen Klimaschutz hier nur einen kleinen, aber nicht unerheblichen Beitrag leisten. Wenn auf allen Ackerflächen im Land alle Anstrengungen zum Humusaufbau ergriffen würden, könnten damit etwa drei Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr in Deutschland aus der Atmosphäre durch Pflanzen aufgenommen und der Kohlenstoff daraus im Humus gebunden werden.
[...] Klimaschutz in der Landwirtschaft funktioniert nur, wenn der [rezente] Klimawandel selbst [...] keinen Strich durch die Rechnung macht. Denn höhere Temperaturen und geringere Niederschläge verringern die Humusschicht. Und auch wenn der Landwirt den Humusaufbau nicht kontinuierlich durch geeignete Maßnahmen fördert, wird wieder mehr Kohlendioxid aus den Böden freigesetzt. [...]"

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M6 Humus als unterschätzter Kohlenstoffspeicher

Dauergrünlandboden	135 t/ha
Ackerboden	96 t/ha
Waldboden	88 t/ha

Quelle: Bundesinformationszentrum Landwirtschaft

M7 Kohlenstoffspeichervermögen unterschiedlicher Böden

„„Die Gemüseheldinnen Frankfurt': So lautet der Name eines *Urban-Farming*-Projektes von Juliane Ranck und Laura Setzer. Beim *Urban Farming* geht es darum, Obst und Gemüse mitten in der Stadt anzubauen, egal ob in Parks, Grünstreifen oder Vorgärten. Das Ziel: Durch kurze Transportwege das Klima schützen und die Biodiversität fördern. Die beiden Frauen haben damit vor drei Jahren in einem besetzten Garten im Frankfurter Stadtteil Nordend angefangen. Inzwischen ist daraus eine Organisation mit über 200 Gärtnerinnen und Gärtnern geworden. Die ‚Gemüseheldinnen Frankfurt' wollen durch das *Urban Farming* Großstadtmenschen die Selbstversorgung nahebringen und somit den Klimawandel aktiv bekämpfen. Dafür werden brach liegende Grundstücke zu ertragreichen Gemeinschaftsgärten mitten in Frankfurt umgewandelt. Die Gärten werden nach dem Prinzip der Permakultur angelegt, das bedeutet, sie ähneln den Strukturen natürlicher Ökosysteme. Dazu gehört auch Unkraut, denn obwohl es einen schlechten Ruf hat, ist es oft wichtig für die Biodiversität und oft sogar lecker, gesund und heilsam. Das Wissen darüber ist nur bei den meisten nicht vorhanden. Das *Urban Farming* der Gemüseheldinnen dient auch zur Weiterbildung. Sie bieten nämlich auch Seminare und Führungen an, um über Pflanzen und das Prinzip der Permakulturen aufzuklären und um zu zeigen, wie wichtig Biodiversität ist."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

Urban Farming in Berlin

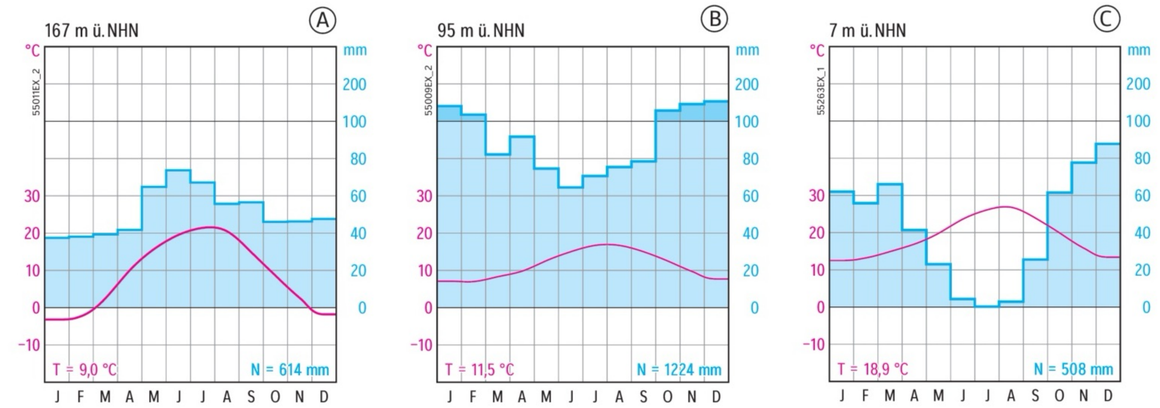
M5 *Urban Farming* – Klimaschutz im Kleinen

Mittlere Breiten und Subtropen in Europa

AUFGABEN

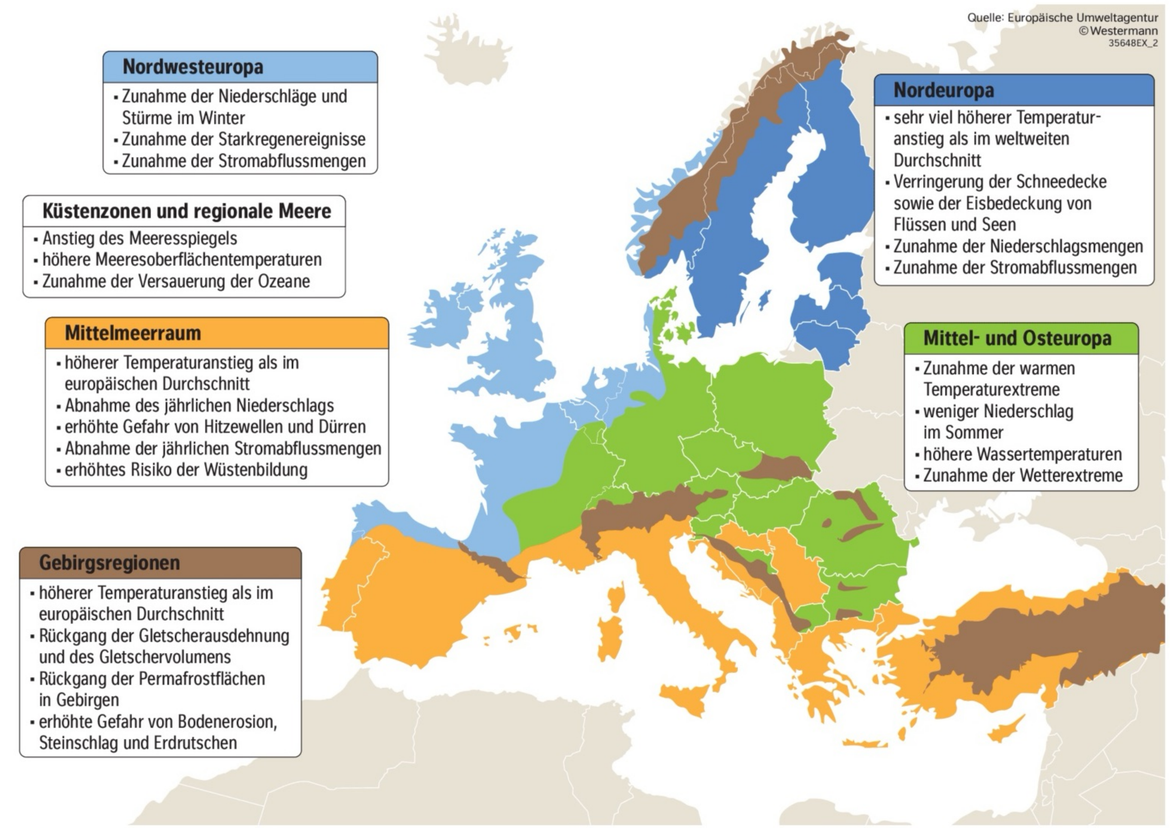
Arbeitszeit: 60 Minuten

1. Ordnen Sie mithilfe des Atlas die Klimadiagramme A, B und C (M1) begründet einer konkreten Klimazone zu.
2. Bestimmen Sie das in der Abbildung M2 zu erkennende Bewässerungsverfahren und erläutern Sie mithilfe des Atlas ökologische Probleme, die sich ergeben können.
3. Erläutern Sie die Folgen des rezenten Klimawandels für Europa für die Bereiche a) Hochwassergefahren und b) Landwirtschaft in den Subtropen (M3).
4. Führen Sie Chancen und Grenzen eines nachhaltigen Waldmanagements vor dem Hintergrund der in M4 dargestellten Entwicklung auf.

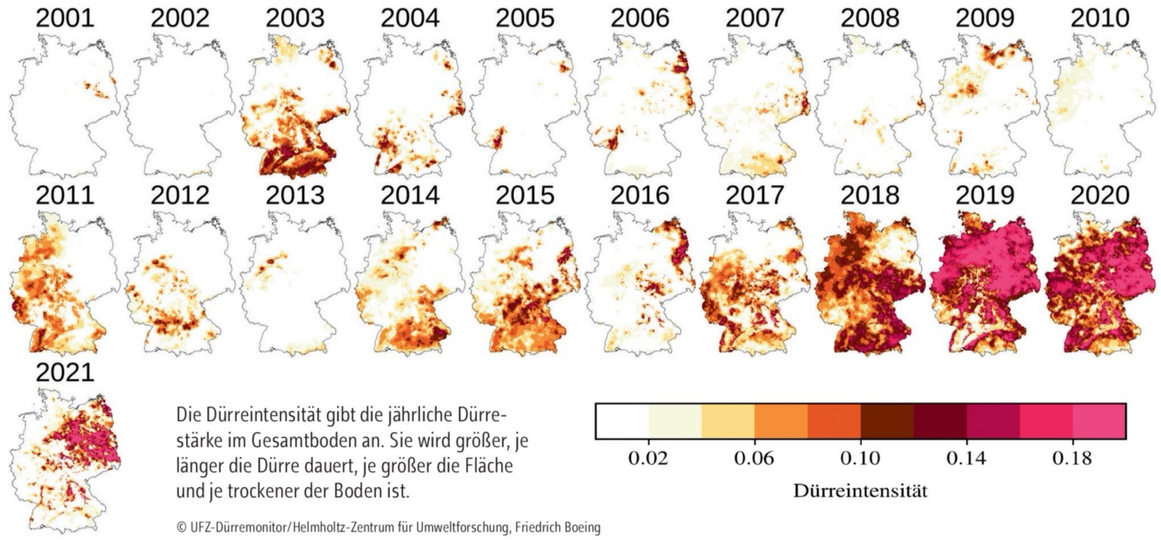


M1 Klimadiagramme aus den Mittleren Breiten und Subtropen Europas

M2 Bewässerungslandwirtschaft im subtropischen Murcia (Spanien)



M3 Folgen des rezenten Klimawandels für die Mittleren Breiten und Subtropen in Europa



M4 Entwicklung der Dürreintensität im Boden in Deutschland (2001–2021)

Garmisch-Partenkirchen mit Alpspitze (links) und Zugspitze (rechts)/Freizeitaktivitäten im Hochgebirge

5

Hochgebirgsräume

Nutzung und Vulnerabilität

In diesem Kapitel erfahren Sie, ...

... welche geodynamischen Prozesse zur Entstehung von Hochgebirgen führen (▸S. 156 – 163).

... welche Klima- und Vegetationszonen in Hochgebirgen vorzufinden sind (▸S. 164 – 165).

... wie Naturgefahren das Leben in Hochgebirgen prägen und welche Schutz- und Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden können (▸S. 166 – 171).

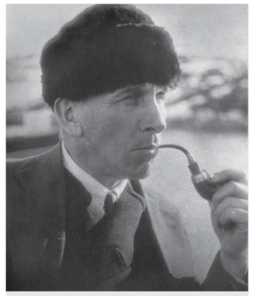
... wie sich der rezente Klimawandel auf Glazialgebiete auswirkt (▸S. 172 – 175).

... was die Chancen und Risiken anthropogener Eingriffe in Hochgebirgsräumen sind (▸S. 176 – 183).

... inwiefern nachhaltige Nutzungsformen möglich sind (▸S. 184 – 187).

Vor Jahrmillionen entstanden, stehen Hochgebirgsräume unter anderem aufgrund ihres hohen Freizeitwertes bei Menschen jeden Alters hoch im Kurs. Die zunehmende Lifestyle-Orientierung vieler Bevölkerungsgruppen hat die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten sowohl im Sommer als auch im Winter zu einem lukrativen Markt werden lassen. Allerdings stellen die anthropogenen Eingriffe und die Auswirkungen des rezenten Klimawandels eine große Belastung für das hochsensible Ökosystem dar. Wie können also nachhaltige Nutzungsformen von Hochgebirgsräumen aussehen?

Die Theorie der Kontinentalverschiebung nach Alfred Wegener



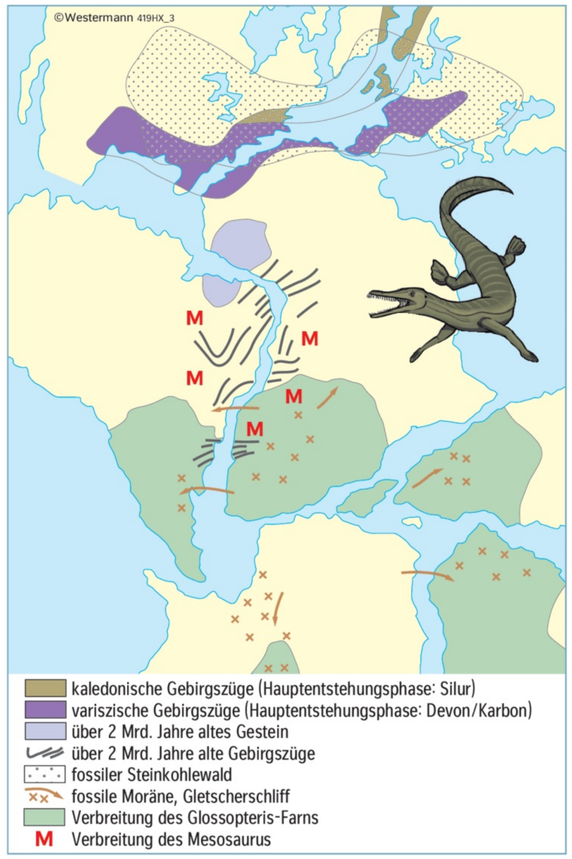
„Nur durch die Zusammenfassung aller Geowissenschaften dürfen wir hoffen, die Wahrheit zu ermitteln."

M1 Zitat von Alfred Wegener

Die Kräfte und Mechanismen geologischer Prozesse sowie die dabei entstehenden Reliefformen stellen klassische Arbeitsfelder der Erderforschung dar. Eine umfassende Theorie fehlte den Geowissenschaften allerdings lange Zeit. Alfred Wegener legte zu Beginn des 20. Jahrhunderts einen gleichermaßen einflussreichen wie auch kontrovers diskutierten Ansatz vor. Weshalb blieb seine Theorie der Kontinentalverschiebung bis zuletzt umstritten?

Bereits im 17. Jahrhundert fiel ersten Gelehrten auf, dass sich die heutigen Kontinente an vielen Stellen wie Teile eines großen Puzzles zusammenfügen lassen. Der deutsche Meteorologe und Polarforscher Alfred Wegener (1880 – 1930) versuchte 1912 in einem Vortrag erstmals, die frühere Existenz eines Urkontinents **Pangäa** mit einer Fülle von Indizien zu belegen. Nach Wegeners **Theorie der Kontinentalverschiebung** begann Pangäa vor etwa 200 Millionen Jahren, in einzelne Kontinente zu zerbrechen. Zwischen diesen hätten sich neue Ozeane gebildet und ursprünglich zusammenhängende geologische Strukturen und Verteilungsgebiete fossiler Tier- und Pflanzenpopulationen seien dadurch getrennt worden (M2). Bei der Kollision und an der Vorderseite driftender Kontinente wurden der Meeresboden und Teile der Landmassen zu Gebirgen zusammengestaucht. So entstanden nach Wegener die Anden und die Rocky Mountains als „Bugwellen" des nach Westen driftenden amerikanischen Kontinents. Inselbögen wie die Antillen betrachtete Wegener dagegen als abgebrochene und zurückgebliebene „Heckteile" von Amerika.

Bei vielen, vor allem deutschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern stieß Wegeners Theorie auf heftigen Widerstand. Sie waren der Überzeugung, dass Kontinentalmassen keine horizontalen (**Mobilismus**), sondern lediglich vertikale Bewegungen durchführen können (**Fixismus**). Gleichartige geologische Strukturen und Fossilien auf benachbarten Kontinenten ließen sich nach dieser Auffassung nur durch in die Ozeane abgesunkene ehemalige Landbrücken erklären. Hier zeigten sich zumindest gewisse Übereinstimmungen mit der sogenannten **Kontraktionstheorie**.



M2 Indizien Alfred Wegeners für die Theorie der Kontinentalverschiebung

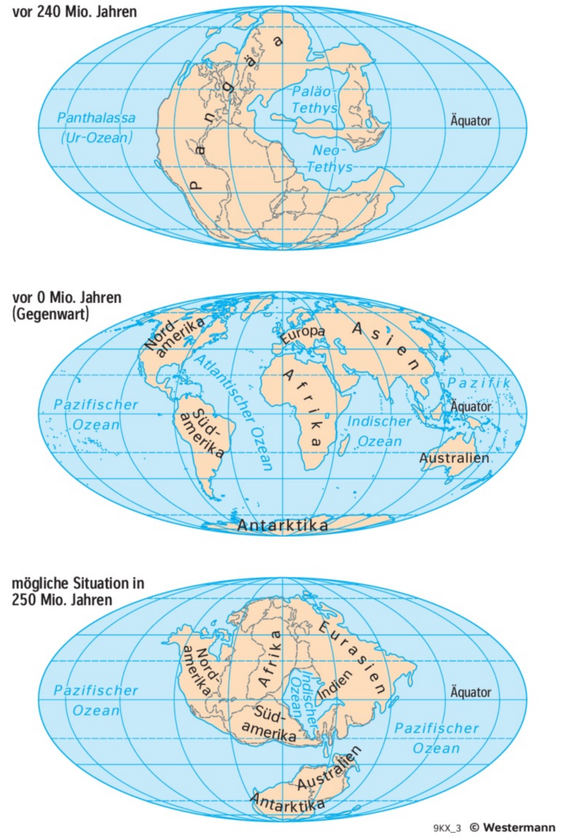
AUFGABEN

1. Stellen Sie Vermutungen darüber an, was Alfred Wegener zu der im Zitat ausgedrückten Feststellung veranlasste (M1).
2. Von Pangäa zu den heutigen Kontinenten:
   a) Erläutern Sie die Indizien Alfred Wegeners für den von ihm angenommenen Urkontinent Pangäa (M2, M3).
   b) Grenzen Sie seine Theorie des Mobilismus vom Ansatz des Fixismus und der Kontraktionstheorie ab.
3. Zeigen Sie auf, weshalb Wegeners Theorie kontrovers diskutiert wurde (Text, M4).

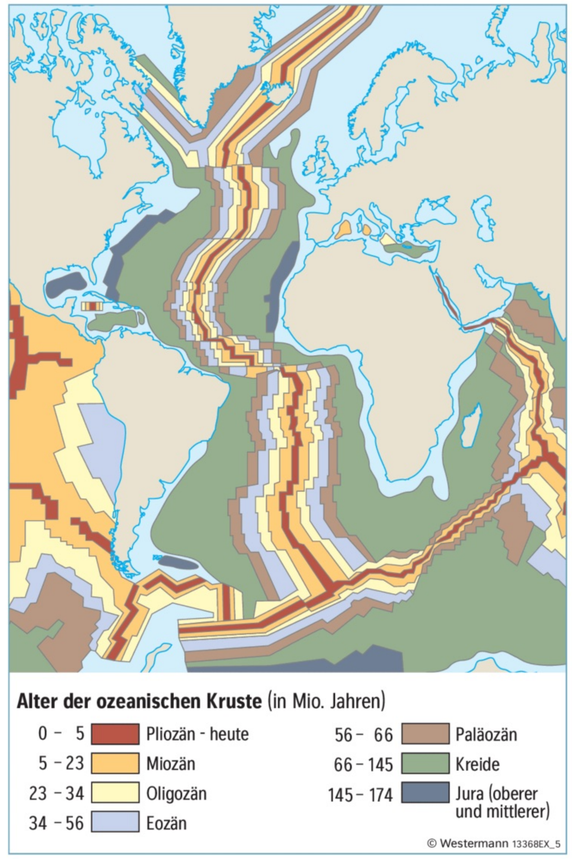
Nach dieser entstünden Gebirge wie die Falten eines schrumpelnden Apfels durch das Schrumpfen der Erde infolge ihrer allmählichen Abkühlung.

Obwohl diverse geophysikalische Erkenntnisse der damaligen Zeit Wegeners Theorie stützten, betrachteten viele Geologinnen und Geologen seine Theorie weiterhin skeptisch. Nicht nur weil er nicht vom Fach war und an einem Grundpfeiler des damaligen geologischen Erkenntnisstandes rüttelte, sondern vor allem, weil er durch die Annahme zweier auf der Erdrotation beruhender Triebkräfte der Kontinentalverschiebung unglaubwürdig wurde: Wegen der Drehung der Erde hätten die Kontinente die Tendenz, sich von den Polen Richtung Äquator zu bewegen, da dort die größte Zentrifugalkraft wirkt (Polfluchtkraft). Zusätzlich würden die Kontinente bei der ostwärts gerichteten Drehung der Erde durch die stationären Gezeitenberge abgebremst und dadurch relativ nach Westen wandern (Gezeitenbremse). Beide Triebkräfte wurden allerdings durch Berechnungen widerlegt. Unter anderem der britische Mathematiker Harold Jeffreys (1891 – 1989) wies nach, dass beide Kräfte viel zu gering seien. Zudem schloss Wegener 1927 aus Positionsberechnungen dänischer Forschenden, dass sich Grönland und eine östlich vorgelagerte Insel um etwa 35 Meter pro Jahr nach Westen verschieben und Nordamerika sich um etwa einen Millimeter pro Tag von Europa entfernt.

Wegen möglicher Messfehler blieb die Fachwelt jedoch skeptisch. Dem Forscher standen jedoch vor über 100 Jahren noch nicht die hochpräzisen Mess- und Darstellungsmethoden der modernen Wissenschaft zur Verfügung (M4). Wegener selbst glaubte aber bis zu seinem Tod auf einer Expedition in Grönland an die Richtigkeit seiner Theorie. Auch profilierte Geologen wie der Schotte Arthur Holmes, der Südafrikaner Alexandre du Toit sowie amerikanische Geowissenschaftlerinnen und Geowissenschaftler waren von ihr überzeugt. Noch heute haben Wegeners Erkenntnisse großen Einfluss auf unser Bild von der Dynamik der Erdoberfläche.



M3 Formen und Verteilung der Kontinente in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft



M4 Darstellung des Alters ozeanischer Erdkruste mithilfe von Satellitenmessungen

M1 Mittelozeanischer Rücken auf Island

Die Theorie der Plattentektonik

Neue technische Möglichkeiten führten dazu, dass sich der Aufbau der Lithosphäre sowie die hier ablaufenden geologischen Prozesse Jahrzehnte nach Wegeners Tod mit einer umfassenden Theorie erklären ließen: der ***Theorie der Plattentektonik****. Welche neuen Erkenntnisse wurden durch moderne Messmethoden möglich?*

Die Lithosphäre besteht aus einem Mosaik von Platten, die auf der plastischen **Asthenosphäre** beweglich gelagert sind. An den Rändern der sich bewegenden Platten (einige Zentimeter pro Jahr) ist stets große tektonische Aktivität zu verzeichnen (z. B. Erdbeben, Vulkanismus). Die Platten bewegen sich dabei auf unterschiedliche Art und Weise zueinander.

Bewegungsrichtungen der Lithosphärenplatten

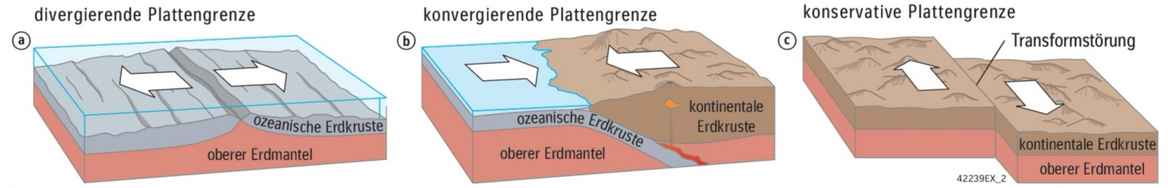
- Zwei Platten divergieren (M2a), d. h., sie entfernen sich voneinander. Entlang des Risses (***Rift Valley***) steigt laufend Magma auf. Dabei wird an **mittelozeanischen Rücken** (ozeanische Erdkruste) bzw. an kontinentalen **Grabenbrüchen** (kontinentale Erdkruste) ständig neue Lithosphäre gebildet. Ozeane werden erweitert (***Seafloor Spreading***) oder sie entstehen.
- Zwei Platten konvergieren (M2b), d. h., sie bewegen sich aufeinander zu. Dabei schiebt sich an **Tiefseerinnen** die dichtere ozeanische Platte unter die weniger dichte kontinentale Platte. Beim Abtauchen (**Subduktion**) drückt sich die ozeanische Platte an die kontinentale und staucht diese. Der kontinentale Plattenrand wird verdickt und ein Gebirge bildet sich. Die abtauchende ozeanische Platte wird an der Asthenosphäre zu Magma aufgeschmolzen, welches entlang der Bruchzone in der kontinentalen Platte aufsteigt und an die Oberfläche gelangt. Es kommt dort zu Vulkanismus. Bei der Kollision zweier Kontinente entsteht ebenfalls ein Gebirge. Kollidieren zwei ozeanische Platten, bilden sich vulkanische Inselbögen (▸ S. 160/161).
- Zwei Platten bewegen sich aneinander vorbei (M2c), d. h. Lithosphärenmaterial wird weder gebildet noch abgebaut. Es kommt jedoch an **Transformstörungen** zu Erdbeben.

Hotspots – notwendige Erweiterung der Theorie

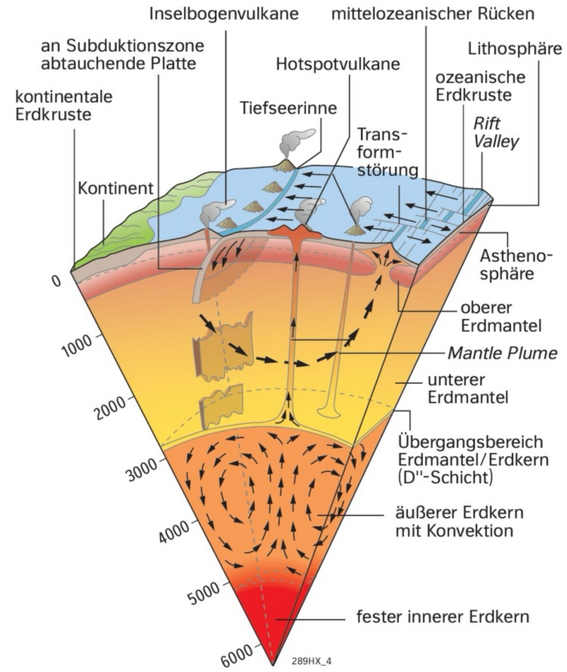
Für viele erloschene oder noch aktive Vulkane, die nicht an den Rändern, sondern innerhalb der Platten liegen, konnte lange Zeit keine Erklärung gefunden werden. Diese lieferte schließlich die Hotspot-Theorie:
An sogenannten ***Hotspots*** (M5) quillt Magma aus großer Tiefe, vermutlich von der Kern-Mantel-Grenze, nach oben. Die als ***Mantle Plumes*** oder **Manteldiapire** bezeichneten, pilzförmigen Intrusionen bilden dabei innerhalb des Erdmantels einzelne heiße Flecken. Von dort aus kann das Magma weiter nach oben steigen und die Lithosphäre durchbrechen. Es kommt zu tektonischer und vulkanischer Aktivität. Bewegt sich eine Lithosphärenplatte über eine solche stationäre und lange Zeit aktive Magmasäule hinweg, verliert diese den Kontakt zur Ausbruchsöffnung und der Vulkan erlischt. Bei anhaltendem Vulkanismus entstehen dabei mehr oder weniger lange Vulkanketten oder Reihen aus Vulkanbergen (z. B. die Hawaii-Inseln).
Hotspots können auch das Zerbrechen eines Kontinents initiieren. Insgesamt sind derzeit rund 120 *Hotspots* bekannt. Seit einiger Zeit steht fest, dass *Hotspots* aber nicht immer ortsfest sein müssen, sondern ihre Position relativ zum tiefen Erdinneren ändern können. Ihre Magmasäulen werden zum Beispiel durch Konvektionsströme im Erdmantel abgelenkt und möglicherweise verlagern sich sogar die Quellpositionen der *Plumes* selbst.

AUFGABEN

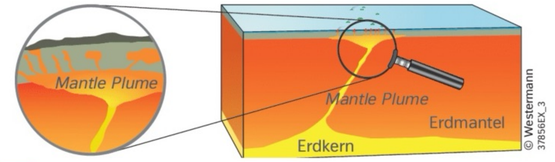
1. Charakterisieren Sie die Bewegungsarten einzelner Erdplatten zueinander und suchen Sie jeweils räumliche Beispiele (M1, M2, Atlas).
2. Erläutern Sie die Antriebskräfte der Plattenbewegungen (M3, M4, M6).
3. Vergleichen Sie die Größe der einzelnen Platten sowie ihren Aufbau aus ozeanischer beziehungsweise kontinentaler Lithosphäre und erläutern Sie hieraus resultierende Konsequenzen (Atlas).
4. Erklären Sie, weshalb die Hotspot-Theorie eine notwendige Ergänzung zur Theorie der Plattentektonik darstellt (M5).
5. Recherchieren Sie konkrete räumliche Oberflächenformen, die als Folge plattentektonischer Prozesse entstanden sind (Internet, ▸ S. 228).



M2 Formen der Plattenbewegungen (vgl. ▸ S. 194: M1)



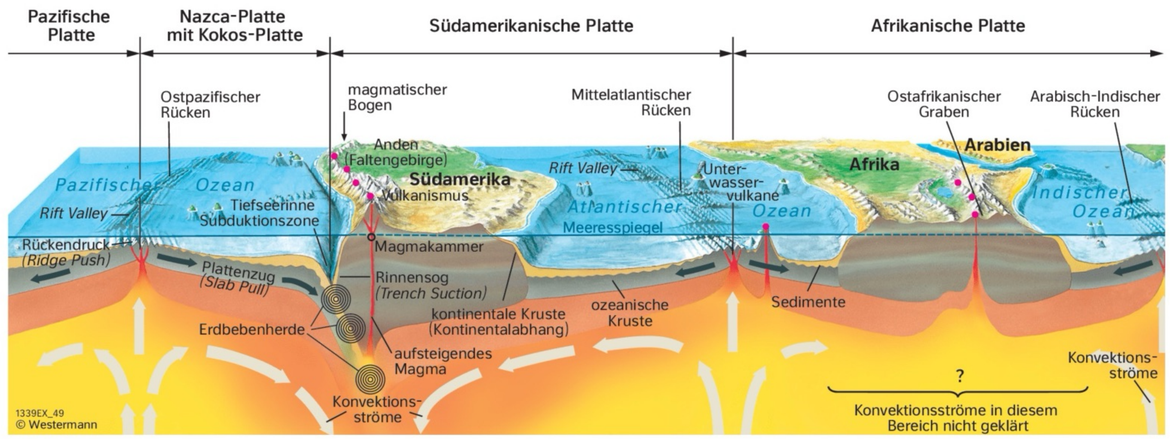
M3 Plattentektonik – Dynamik der Erde



M5 *Hotspot*-Vulkanismus

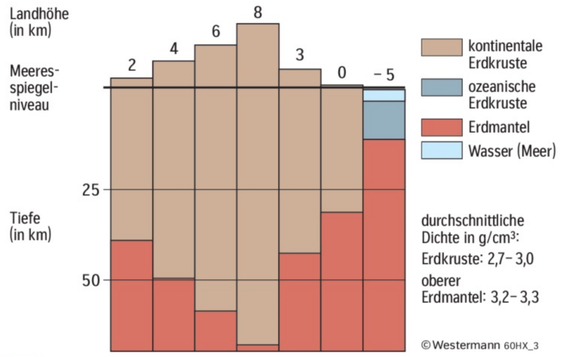
- **Plattenzug** (*Slab Pull*): An den Subduktionszonen sinken die ältesten, dichtesten und daher schwersten Bereiche ozeanischer Platten durch ihr Eigengewicht ab. Sie ziehen die gesamte restliche Platte vom Rift weg hinter sich her und öffnen dadurch den mittelozeanischen Rücken.
- **Rückendruck** (*Ridge Push*): An mittelozeanischen Rücken steigt Magma auf und bewirkt eine Krustenaufwölbung. Der damit angehobene Rand drückt die restliche Platte vom Rücken weg.
- **Rinnensog** (*Trench Suction*): Durch die Subduktion der einen Platte wird die nicht subduzierte (hängende) Platte in Richtung der Subduktionszone der Rinne gezogen.
- **Konvektionsströme**: Noch vor wenigen Jahren wurden die Konvektionsströme als Hauptantriebskraft angesehen. Nach neueren Forschungen spielen diese für den Antrieb nur eine untergeordnete oder auch gar keine Rolle. Sie schleppen die Platten durch Reibungskopplung nur passiv mit.

M6 Antriebsmechanismen für Plattenbewegungen



M4 Plattentektonische Prozesse

M 1 Himalaya-Gebirge (Mitte: Makalu, 8463 m ü. NHN)



M 2 Das Prinzip der Isostasie

AUFGABEN

Gebirgsbildung (Orogenese)

1. Stellen Sie Vermutungen zur Beantwortung der Ausgangsfrage im Einleitungstext an.
2. Vergleichen Sie die Prozesse der Orogenese beim Inselbogentyp, andinen Typ und alpinen Typ (M3, M4).
3. Erklären Sie die Bedeutung des Prinzips der Isostasie für die Hebung und Entstehung von Gebirgen (M2).

Alpine Orogenese

4. Erläutern Sie die Prozesse, die zur Entstehung der Alpen geführt haben (M5).
5. Erstellen Sie ein kurzes, moderiertes Erklärvideo zur Entstehung der Alpen.
6. Recherchieren Sie im Internet die Entstehung des Himalaya-Gebirges (M1) und ordnen Sie diese begründet einem Gebirgsbildungstyp zu (▸ S. 228).

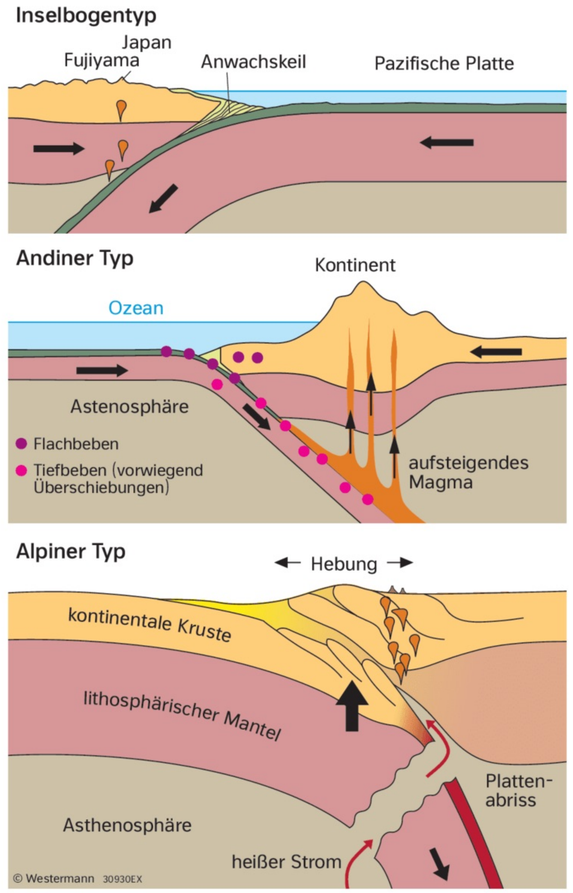
Gebirgsbildung – die Entstehung der höchsten Punkte der Welt

*Als Resultate plattentektonischer Vorgänge kommt es an der Erdoberfläche neben Erdbeben (▸ S. 194/195) und Vulkanismus (▸ S. 200/201) auch zur Gebirgsbildung (**Orogenese**). Wie entstehen die höchsten Punkte der Welt durch Vorgänge im Erdinneren?*

Gebirgsbildung erfolgt in der Regel an konvergierenden Plattengrenzen (▸ S. 158). Dabei kollidieren Plattenteile, Erdkruste wird durch anhaltenden Druck verfestigt, gefaltet, gekippt, zerbrochen, übereinandergestapelt und bei starkem seitlichen Druck über den Kontinentalrand aufgeschoben. So können selbst mächtige gefaltete Sedimentpakete an ihrer Faltbasis abreißen und als **Decken** Hunderte von Kilometern über jüngere Schichten verfrachtet werden.

Hebung von Gebirgen

Durch den Zusammenschub der Erdkruste werden Gesteinskomplexe insgesamt nur wenig angehoben. Die horizontale Stauchung ergibt jedoch zugleich eine gewaltige Krustenverdickung. Dadurch wird viel leichtes Material tief in den Mantel gedrückt, das aus isostatischen Gründen aber einen Auftrieb erhält und daher langsam nach oben gedrückt wird. Mit einer Zeitverzögerung von einigen Millionen Jahren beginnt sich der Gesteinskomplex zu heben und ein Gebirge entsteht (M2). Zum Ausgleich muss in der Tiefe Material von den Seiten nachfließen. Der Aufstieg eines Gebirges wird also stets vom Absinken seiner Randbereiche begleitet. Da die Gebirgswurzel meist im zentralen Teil am tiefsten reicht, ist der Hebungsprozess dort am stärksten.



M 4 Schematische Darstellung der Gebirgsbildungstypen

Inselbogentyp
Beim Inselbogentyp kommt es am Rand oder innerhalb eines Ozeans zur Kollision zweier ozeanischer Platten mit langanhaltender Subduktionstätigkeit. Die schwerere Platte wird in den Erdmantel subduziert und aufgeschmolzen. Auf dem Meeresboden entstehen Ketten von Vulkaninseln, sogenannte **Inselbögen**. Begleitet wird diese Kollision auch vom Zusammenschieben und Falten von Sedimenten, die in den Bau der Inselketten einbezogen werden. So sind beispielsweise die japanischen und philippinischen Inseln im westlichen Pazifik entstanden.

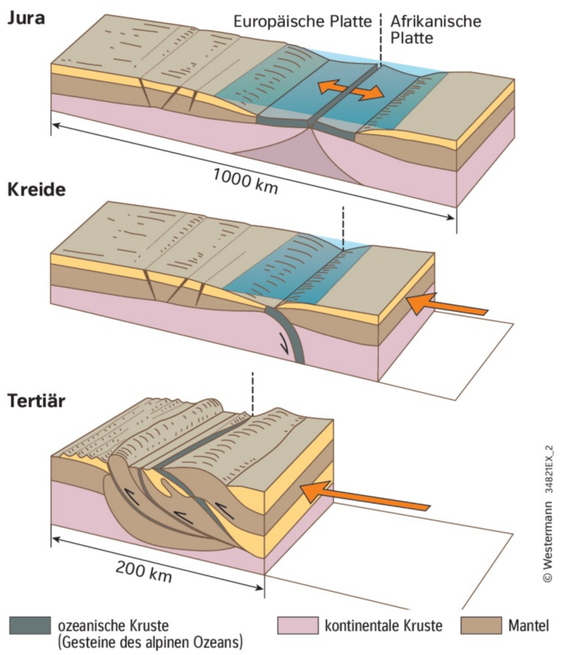
Andiner Typ
Beim andinen Typ wird die ozeanische Kruste unter die kontinentale Kruste subduziert. Letztere wird dabei gestaucht. Teile der ozeanischen Kruste schmelzen in der Tiefe auf, Magma dringt nach oben. Zusammenschub und Magma führen zur Krustenverdickung. Dadurch wird leichteres Material in den schwereren Erdmantel gedrückt, sodass dieses durch den Auftrieb nach oben gedrückt wird. Beispiele für den andinen Typ sind die Anden und die nordamerikanischen Kordilleren.

Alpiner Typ
Beim alpinen Typ ist die Subduktionsrate eines Plattenrandes höher als die Ausbreitungsrate am ozeanischen Rücken. Daher verkleinert sich das Ozeanbecken. Das führt zunächst zur Subduktion des Rückens und schließlich zur Kollision angrenzender kontinentaler Massen. Bei dieser Kontinent-Kontinent-Kollision werden Teile der Erdkruste oft in großer Tiefe gefaltet, über- und untereinandergeschoben. An der Oberfläche entstehen noch nicht sichtbare Falten- und Deckengebirge. Schließlich reißt die noch anhängende subduzierte ozeanische Lithosphäre unter ihrem Eigengewicht ab. Durch Wegfallen dieses Gewichtes setzt ein verstärkter Auftrieb der kontinentalen Kruste ein. Der sich über 1200 Kilometer erstreckende Alpenbogen ist dem alpinen Typ zuzuordnen.

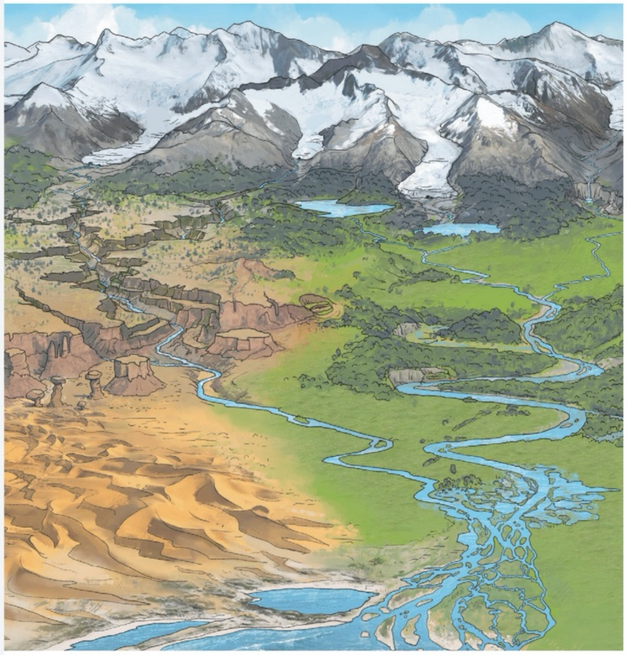
M 3 Gebirgsbildungstypen

Die Entstehung der Alpen

Die geologischen und geomorphologischen Strukturen der Alpen sind das Resultat komplizierter plattentektonischer Prozesse. Der alpidischen Orogenese ging eine starke Dehnungstektonik im Jura voraus, die in ursächlichem Zusammenhang mit dem Auseinanderbrechen des Urkontinents Pangäa in Kontinentalschollen sowie der Öffnung des Atlantischen Ozeans steht und als Geburtsstunde des Urmittelmeers (Tethys) gilt. Hier lagerten sich unterschiedliche Sedimente ab, die die Gesteinsvielfalt der Alpen begründen. Zu einer Umkehr der Plattendynamik kam es in der Kreide vor rund 100 Millionen Jahren. Die Afrikanische Platte driftete nach Norden. Am Südrand der Tethys entstand eine Subduktionszone, an der der Ozeanboden samt den aufliegenden Sedimentschichten abtauchte und vollkommen aufgezehrt wurde. An den konvergierenden Plattenrändern schob sich die Afrikanische auf die Eurasische Platte. Die Deckenstapel wurden mobilisiert und kamen auf dem europäischen Kontinentalrand dachziegelartig zu liegen. Sie wurden in der Folgezeit (Tertiär bzw. Paläogen) bis auf eine Breite von nur 200 Kilometer zusammengestaucht und gefaltet.
Die Prozesse der Überschiebungen und Faltungen waren bereits weitgehend abgeschlossen, als vor rund 30 Millionen Jahren die kräftige Heraushebung des Deckenstapels einsetzte. Erst jetzt entwickelte sich der Hochgebirgscharakter der Alpen. Die Hebung dauert bis heute an (ca. 1 mm pro Jahr).



M 5 Phasen der Alpenorogenese



M 1 Landschaftsformung durch exogene Prozesse

Exogene Kräfte formen Gebirge

Die Alpen wachsen etwa einen Millimeter pro Jahr. Nach ihrem Alter müssten sie somit heute über 30 Kilometer hoch sein. Doch der Mont Blanc als höchster Berg der Gebirgskette misst gerade einmal 4810 Meter ü. NHN. Wie ist das möglich?

Neben den Kräften, die aus dem Erdinneren heraus wirken (**endogen**), formen auch äußere Einflüsse die Hochgebirge. Diese werden als **exogene** Kräfte bezeichnet. Kaum haben also endogene Kräfte die Erdoberfläche aufgetürmt, beginnen exogene Kräfte (z. B. Wasser, Wind, Pflanzen, Eis) diese wieder abzutragen und umzuformen. In Hochgebirgsräumen wirken dabei verschiedene exogene Kräfte gleichzeitig.

Verwitterung – Die Natur zerkleinert Steine

Unter dem Begriff **Verwitterung** sind alle physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse zusammengefasst, die zur Lockerung, Aufbereitung und Zerkleinerung von Gesteinen führen. Aufgrund der klimatischen Bedingungen dominieren in den Hochgebirgen in der Regel physikalische und biologische Verwitterungsprozesse, d. h., Gesteine werden mechanisch zerkleinert, ohne dass eine stoffliche Veränderung erfolgt (M2).

A: Insolationsverwitterung
Besonders im Sommer werden Felsflächen durch starke Sonneneinstrahlung aufgeheizt und dehnen sich aus. Nachts oder bei Regen kommt es häufig zu einer raschen Abkühlung des Gesteins, wobei sich die Oberfläche wieder zusammenzieht. Diese Vorgänge führen zu starken Spannungen im Gestein, die zum Abplatzen einzelner Körner oder Gesteinsschalen führen.

B: Frostsprengung
Dringen Regen oder Schmelzwasser in feine Poren, Spalten oder Risse ein, kann es zu Frostsprengung kommen. Das Wasser in den Hohlräumen verändert beim Gefrieren sein Volumen und übt hierdurch Druck auf das umliegende Gestein aus. Die Hohlräume werden hierdurch erweitert und noch mehr Wasser kann eindringen. Durch häufigen Wechsel zwischen Gefrieren und Auftauen wiederholt sich der Prozess, was schließlich zur Absprengung von Gesteinsstücken (Frostschutt) führt.

C: Wurzelsprengung
Pflanzen können mit ihren Wurzeln in Klüfte und Spalten von Gesteinen eindringen. Wachsen die Pflanzen und damit die Wurzeln, können sie einen erheblichen Druck auf Gesteine ausüben. Es kommt so zu einer Aufweitung oder Sprengung des Gesteins.

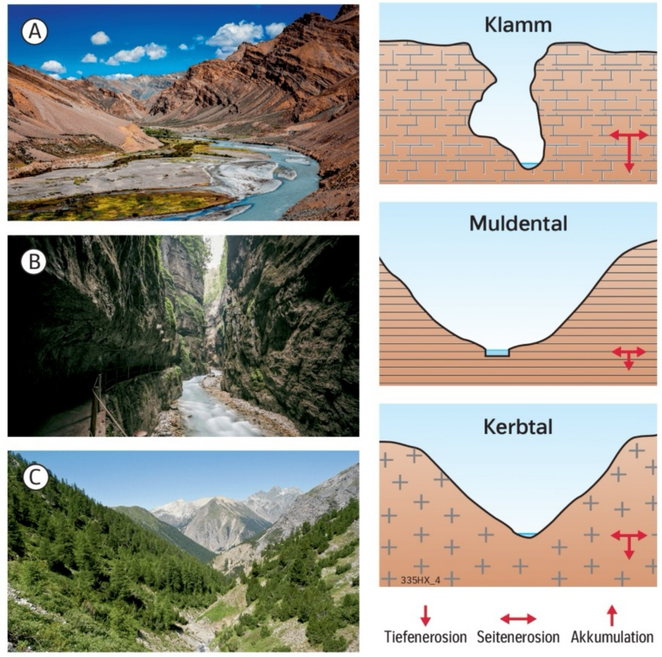
M 2 A – C: Formen der Verwitterung

AUFGABEN

1. Stellen Sie anhand der Graphik M1 Vermutungen an, welche exogenen Kräfte das Landschaftsbild von Hochgebirgsräumen auf welche Weise formen.
2. Ordnen Sie die Bilder (M3) den fluvial entstandenen Talformen begründet zu. Gehen Sie dabei auch auf die Bedeutung der Erosion bzw. Akkumulation ein.
3. Erstellen Sie eine Mindmap, die die exogenen Prozesse in Hochgebirgsräumen zusammenfasst (M2–M4).

Fluviale Formung – Flüsse gestalten die Landschaft

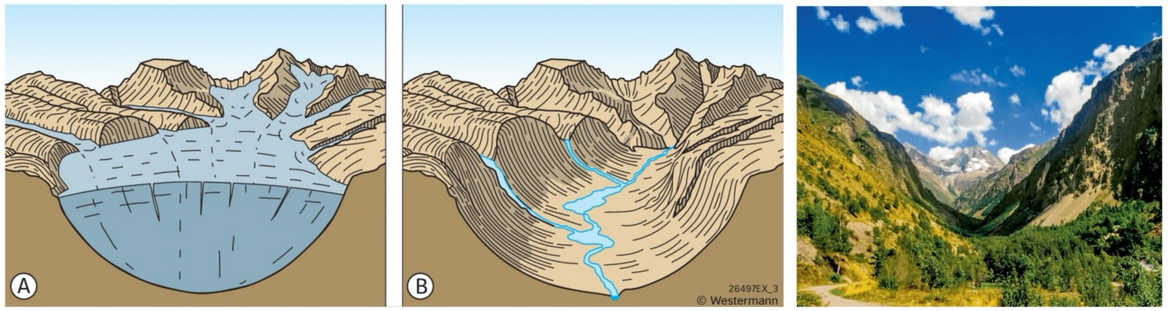
Flüsse wie der Rhein, dessen Quelle sich in den Schweizer Alpen befindet, schufen imposante Flusslandschaften. Von der Quelle bis zur Mündung bearbeitet fließendes Wasser dabei permanent den Untergrund. Im Flussbett zerkleinert es Steinblöcke zu Geröll, zu Sand und schließlich zu schlammigem Ton. Mit diesem Transportmaterial schneidet sich der Fluss selbst in den härtesten Felsuntergrund ein. Die linienhafte Abtragung durch fließendes Wasser wird als **fluviale Erosion** bezeichnet.
Bäche und Flüsse schneiden sich nicht nur in die Tiefe ein, sondern erodieren auch am Uferrand zur Seite und verbreitern somit das Flussbett. Je nachdem, ob die Tiefen- oder die Seitenerosion vorherrscht, ändert sich die Talform (M3). Auf die Gestaltung der Täler hat auch der Gesteinsuntergrund großen Einfluss. Zwischen Quelle und Mündung wechselt die Talform auch deshalb, weil das Gefälle und damit die Fließgeschwindigkeit vom Oberlauf zum Unterlauf abnimmt. Im steilen Oberlauf überwiegt die Erosion, im flachen Unterlauf die Ablagerung (**Akkumulation** bzw. **Sedimentation**).



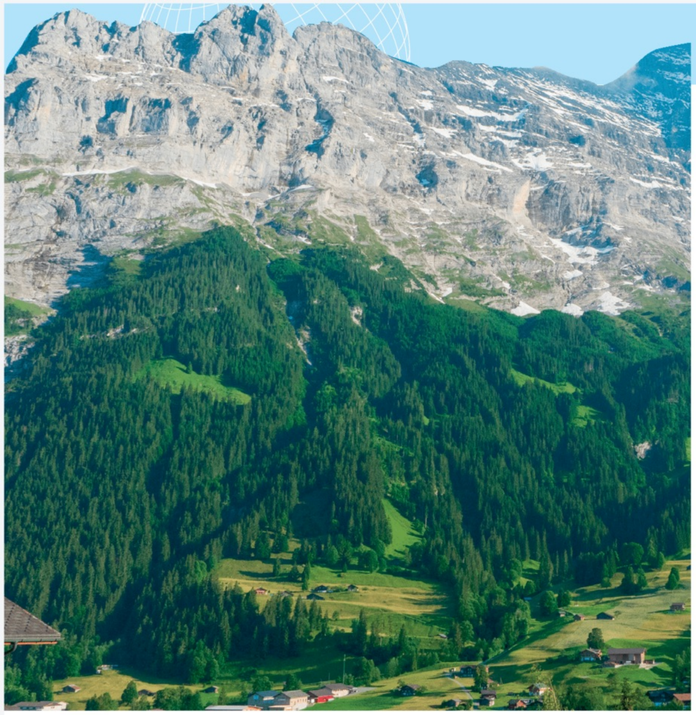
M 3 Talformen

Glaziale Formung – Eis hinterlässt Spuren

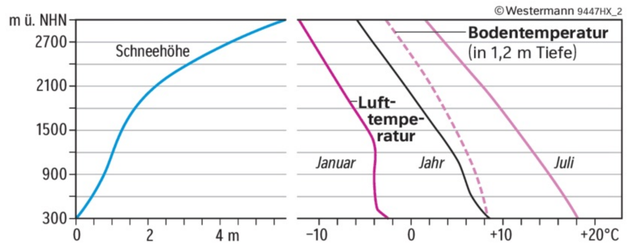
Das enorme Gewicht von Gletschereismassen lässt diese an Hängen in Bewegung geraten. Wie riesige Zungen wirken dabei die großen Eisströme, die sich in den Alpen und anderen Hochgebirgen langsam von den Bergen abwärts bewegen. Als Gleitfilm dient das Schmelzwasser, das sich durch den Druck und die so verursachte Erwärmung an der Gletscherunterseite bildet – der Gletscher fließt. Mit ihrem großen Gewicht erodieren die Eisströme Gestein vom Untergrund und den Talflanken. Dabei wird das Ausgangsmaterial entweder abgeschliffen (**Detersion**, **Gletscherschliff**) oder direkt herausgerissen (**Detraktion oder *Plucking***). Erst nach dem Abtauen des Gletschers werden die Formen der **Gletschererosion** vollständig sichtbar, zum Beispiel die **Trogtäler** mit ihrem U-förmigen Querschnitt (M4). Im Eis mitgeführter Schutt lagert sich an den Seiten des Gletschers als **Seitenmoräne** und vor der Gletscherzunge als **Endmoräne** ab. Während der Eiszeiten muss es in den Alpen etwa so ausgesehen haben wie heute in Grönland (▶ S. 92: M2): Nur die Gipfel der höchsten Berge ragten aus einem Meer von Eis. Diese großen Gletscher schmolzen ab, als sich das Klima änderte. Ihre Spuren sind jedoch noch heute in der Landschaft zu sehen. So stellen **Zungenbeckenseen** wie beispielsweise der Starnberger See beliebte Ausflugsziele dar. Die Gletscher in den Höhenlagen der Hochgebirge formen weiterhin die Gebirge.



M 4 Entstehung eines Trogtals



M1 Höhenstufen der Alpen (Grindelwald, Schweiz)



M2 Veränderung pflanzenökologischer Bedingungen

AUFGABEN

1. Beschreiben Sie die sichtbaren Strukturen vom Tal bis zum Gipfel (M1).
2. Erläutern Sie die Veränderungen der ökologischen Bedingungen mit der Höhe am Beispiel der Alpen (M2).
3. Vergleichen Sie die vertikale Niederschlagsverteilung in außertropischen und tropischen Gebirgsräumen (M3).
4. a) Beschreiben und begründen Sie die Unterschiede zwischen den Höhenstufen der Vegetation tropischer und außertropischer Hochgebirge (M4).
   b) Zeigen Sie anhand von (Satelliten-)Bildern eines Online-Kartendienstes die unterschiedlichen Höhenstufen tropischer und außertropischer Gebirge auf.
5. Erläutern Sie mögliche Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Vegetation und das Ökosystem von Hochgebirgen.

Das Ökosystem der Hochgebirge

Ein Wanderer oder eine Wanderin erlebt bei der Besteigung eines Alpengipfels eine ähnliche Pflanzenfolge wie während einer Autofahrt vom Alpennordrand ans Nordpolarmeer. Welche Ursachen führen zur vertikalen Zonierung, den Höhenstufen, in Hochgebirgen?

In allen Hochgebirgen der Erde ändern sich die ökologischen Bedingungen für Pflanzen aufgrund der Hangneigung, Exposition sowie der Höhe. Mit ansteigender Reliefhöhe:

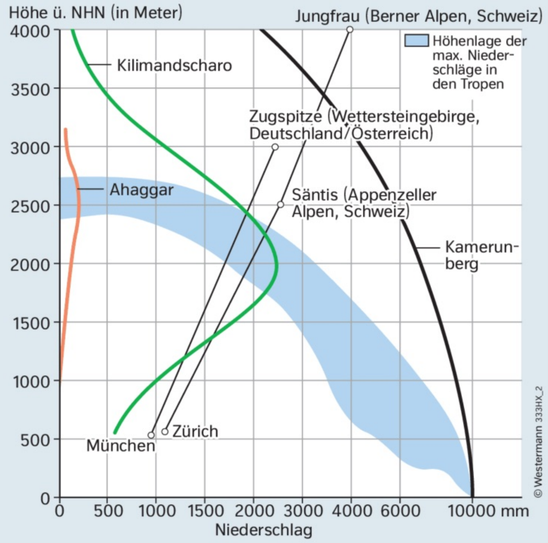
- sinken die Tages- und Jahresdurchschnittstemperaturen mit höheren Tagesschwankungen und z. T. strengen Frösten,
- gibt es häufiger hohe und wechselnde Schneelagen,
- verursacht der **Windschliff** durch von Stürmen mitgeführte Eispartikel Verletzungen an Pflanzen,
- trocknet der häufigere Wind den Boden schneller aus, sodass trotz der meist mit der Höhe zunehmenden Niederschläge die Pflanzen oft in **Wasserstress** geraten,
- steigt die Gefahr der Frosttrocknis bei Nadelbäumen (sie öffnen im Frühling ihre Spaltöffnungen, um mit der Photosynthese zu beginnen, erhalten aber keinen Wassernachschub aus dem noch gefrorenen Boden),
- nimmt der Stickstoffmangel im Boden zu und geht die Bodenbildung insgesamt zurück,
- gibt es immer weniger Insekten, die Pflanzen bestäuben könnten.

Die Veränderungen der ökologischen Gegebenheiten mit der Höhe führen in Gebirgen zu einer etagenartigen Staffelung bestimmter Pflanzengemeinschaften. Den horizontalen vom Äquator zum Pol aufeinanderfolgenden Vegetationszonen entspricht in etwa eine vertikale, vom Meeresniveau bis zu den höchsten Gipfeln reichende Höhenstufung der Vegetation. Außer in den Gebirgen der Trockenräume und der polaren Gebiete sind in allen Hochgebirgen der Erde in den unteren Lagen Hochwälder ausgebildet, deren Wuchshöhe mit zunehmender Höhe abnimmt und die gleichzeitig lichter werden. Darüber folgt die Formation der Gräser, die von Moosen und Flechten in den größten Höhen abgelöst werden. Innerhalb der einzelnen Höhenstufen erfolgen jeweils weitere Differenzierungen durch unterschiedliche Hangexpositionen, durch lokale Windverhältnisse und durch Luv-Lee-Effekte, aber auch durch unterschiedliche Boden- und Bodenwasserverhältnisse.

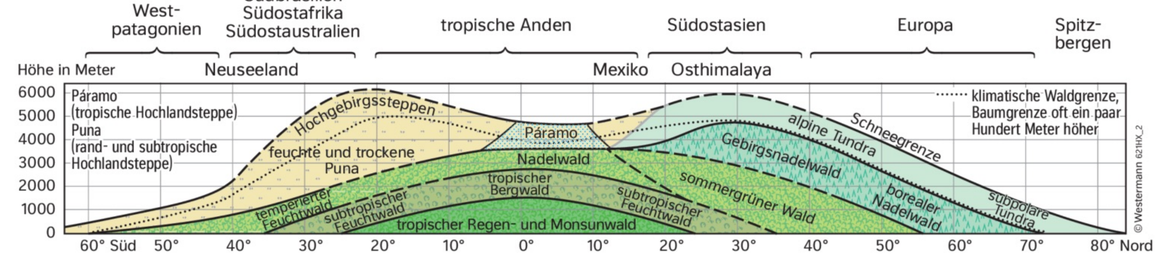
Die Niederschlagssummen nehmen in den tropischen Hochgebirgen zwar vom Fuß des Gebirges bis zu einer Höhenstufe maximalen Niederschlags zu, in den Höhenstufen darüber nehmen sie aber auch wieder deutlich ab. Dies liegt daran, dass die Niederschläge in den Tropen fast ausschließlich thermisch, also durch Konvektion warmer Luftmassen, entstehen. Außerdem nimmt in den Tropen – im Gegensatz zu den Alpen – die Windstärke oberhalb von 1000 Metern ab. Deshalb ist die Zufuhr feuchter Luftmassen in größeren Höhen begrenzt.

Mit zunehmender Luftfeuchtigkeit verlagert sich die Stufe des maximalen Niederschlags von größeren Höhen in den Randtropen zum Gebirgsfuß in den Immerfeuchten bzw. Inneren Tropen. In der Passatzone sind diejenigen Hochgebirge besonders niederschlagsreich, die über längere Zeit des Jahres quer zu einer feuchten Luftströmung liegen, wie z. B. Hawaii.

In der außertropischen Westwindzone dominieren dagegen die Aufgleitniederschläge oder Steigungsregen, die durch ständige horizontale Zufuhr (**Advektion**) relativ warmer und feuchter Luftmassen entstehen. Bei diesem Advektionstyp der vertikalen Niederschlagsverteilung liegt die Höhenstufe des maximalen Niederschlags zwischen 3500 und 4000 Metern, da hier die horizontale Luftbewegung am stärksten ist.



M3 Vertikale Niederschlagsverteilung in außertropischen und tropischen Hochgebirgen



M4 Höhenstufen der Vegetation in außertropischen und tropischen Hochgebirgen

Höhenstufen der außertropischen Gebirge

Auffällige Trennlinien der Höhenstufen sind die Schnee-, Wald- und Baumgrenze. Das Bild der **kollinen** und **submontanen Stufen** mit ihren langen Vegetationsperioden wird von Misch- und Laubwäldern geprägt. An der **Waldgrenze** enden die geschlossenen, von Nadelbäumen dominierten Waldbestände der **montanen Stufe**. Häufig erreicht die Waldgrenze nicht ihre thermisch maximal mögliche Höhe, da etwa steile Hänge oder Felswände keinen Baumbewuchs zulassen.

Die **Baumgrenze** kennzeichnet die Höhe, bis zu der einzeln stehende Bäume bzw. Baumgruppen überleben. Jedoch dominieren ausgedehnte flache Krummholzbestände und kleinwüchsige Formen (z. B. Latschenkiefer) die **subalpine Stufe**. In der **alpinen Stufe** wachsen Rasen- und Mattenpflanzen, die trotz der extremen Bedingungen einen ausgeprägten Artenreichtum aufweisen. Oberhalb der **Schneegrenze** taut der Schnee ganzjährig nicht mehr ab (**nivale Stufe**).

Höhenstufen der tropischen Gebirge

In den Gebirgen der Tropen weichen die ökologischen Bedingungen von den Außertropen in zwei Punkten deutlich ab. Erstens werden die Höhenstufen zunehmend trockener. Zweitens nehmen die Tagestemperaturamplituden mit der Höhe zu. Am geringsten ist die Differenz zwischen Tag und Nacht in der untersten Höhenstufe (**Tierra Caliente**), die von Regenwäldern bzw. Savannen dominiert wird.

Artenvielfalt und Vegetation nehmen mit der Höhe ab. Die Temperaturen in der darüberliegenden **Tierra Templada** liegen im Mittel noch bei 17 °C. In der **Tierra Fria** treten neben hohen Tagestemperaturamplituden ganzjährig Nachtfröste auf. Die kleinwüchsigen Gehölze sind hier aufgrund der häufigen Nebel mit Epiphyten und üppigen Flechten überzogen (**Nebelwald**). Aufgrund der mangelnden Feuchtigkeit bilden sich oberhalb keine mit den außertropischen Gebirgen vergleichbaren Nadelwald- bzw. Krummholzstufen aus.

M1 Mure bei Salzburg (2017)

Achtung, alpine Gefahren!

Während das ästhetische Bergrelief mit seinen teilweise exponierten Lagen oftmals Ziel von Freizeitsportlerinnen und -sportlern sowie Erholungssuchenden ist, stellt es gleichzeitig eine Vielzahl möglicher Gefahren für den Menschen dar.

AUFGABEN

1 Erstellen Sie eine Mindmap mit möglichen Gefahren im Hochgebirge (M1, M2, ▸S. 225).

2 a) Erklären Sie die unterschiedlichen Typen von gravitativen Massenbewegungen und ergänzen Sie Ihre Mindmap aus Aufgabe 1 (M3, M4).

E1 b) Gestalten Sie zu einer der Massenbewegungen (M3) ein Blockbild (▸S. 230).

3 Informieren Sie sich über aktuelle Vorkommnisse und Naturereignisse in den Hochgebirgen (Internet). Ergänzen Sie dann Ihre Mindmap aus Aufgabe 1.

4 Ihr Geographiekurs plant eine Exkursion mit einer Wanderung in den Alpen (▸S. 241).
a) Ermitteln Sie einen passenden Zielort und eine für Ihre Lerngruppe adäquate Wanderung.
b) Diskutieren Sie dabei das Gefahrenpotenzial.
c) Erstellen Sie mithilfe eines GIS (z. B. BayernAtlas) eine Gefahrenanalyse für die Exkursion unter Berücksichtigung der verschiedenen gravitativen Massenbewegungen (M3, M4, ▸S. 227).

Klima, Relief und eine starke Exponiertheit machen den Raum in Hochgebirgen oftmals unwirtlich, was Flora und Fauna in diesen Regionen ein besonderes Maß an Anpassung abverlangt. Doch auch für den Menschen ist die Hochgebirgsregion, bei der die Gipfel über die Schneegrenze hinausragen und über 1500 Meter über NHN liegen, eine extreme Gegend. Dies zeigt sich allein daran, dass der Raum kaum dauerhaft besiedelt ist. Zu aufwendig gestaltet sich der Bau von Wohngebäuden und zu groß sind die Herausforderungen beim Transport von Mensch und Gütern. Des Weiteren sieht sich der Mensch hier einer Reihe von Naturgefahren ausgesetzt, die auf die spezifische Geomorphologie der Hochgebirge zurückzuführen sind.

Natürliche Risikofaktoren

Außergewöhnliche Naturereignisse (▸S. 192) finden hier in Form von gravitativen Massenbewegungen statt. Hierbei geraten große Mengen von Material aus unterschiedlichen Gründen in Bewegung. Das Material kann hierbei Schnee, Eis, Gestein, Bäume, Erdmassen oder Schlamm sein. Oft handelt es sich um Mischformen. So kann zum Beispiel eine **Mure** aus Schlamm und gröberem Gesteinsmaterial auf ihrem Weg hangabwärts noch Bäume ausreißen und diese mittransportieren (M1).

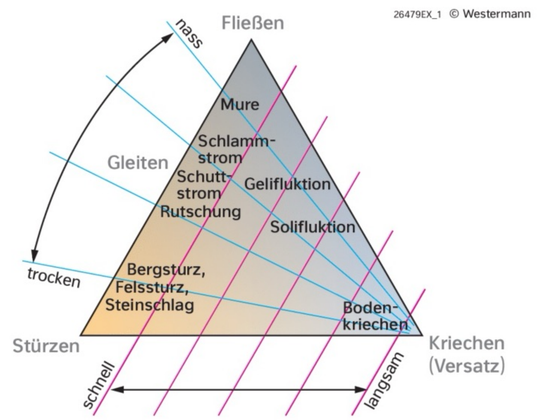
Je nach Geschwindigkeit und Feuchtigkeit lassen sich unterschiedliche Formen von gravitativen Massenbewegungen unterscheiden (M3). Ausschlaggebende Faktoren für einen Abgang sind Hangneigung, Lage des Hangs, Wind und Temperatur. Bei Lawinen (M4) kommen noch der Aufbau der Schneedecke und die Neuschneemenge hinzu.

Je umfangreicher das in Bewegung geratene Material, desto höher ist das Verwüstungspotenzial. Dabei sind nicht nur die Gebirgsregionen selbst betroffen, sondern auch die darunterliegenden Täler.

	2012	2014	2016	2018	2020	2022
Unfälle in den Alpen*	790	883	942	979	935	1052
davon tödlich	26	40	30	31	29	35

* in Deutschland, Österreich, Schweiz,
Quelle: Deutscher Alpenverein 2024

M2 Warnschild (oben) und Unfälle in den Alpen (unten)



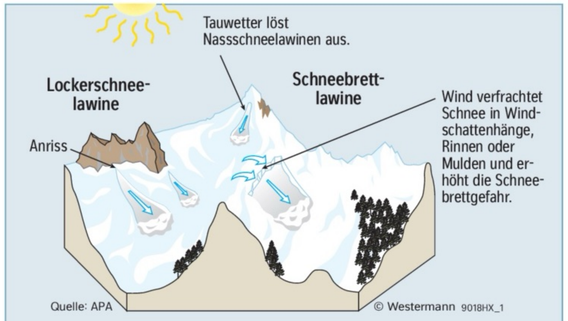
M3 Arten von gravitativen Massenbewegungen

Der Mensch und die Berge

Seit jeher üben Berge eine Faszination auf den Menschen aus. (Erst-)Besteigungen machten Bergsteigerinnen und Bergsteiger berühmt und motivierten zahlreiche weitere zur Nachahmung. Heutzutage locken spektakuläre Aufnahmen (u.a. auf *Social-Media*-Plattformen) und extreme Freizeitsportarten immer mehr Menschen in die Hochgebirge, wodurch seit Jahren die Zahl der Unfälle (M2) und der Naturereignisse mit menschlicher Beteiligung steigt. Moderne Ausrüstung (▸S. 169: M5) und eine touristische Vermarktung mancher Berge suggerieren den Freizeitsportlerinnen und Freizeitsportlern eine trügerische Kontrollierbarkeit der alpinen Gefahren. Im Falle eines Unglückes werden Rettungs- und Bergungsmaßnahmen oft durch unwegsames Gelände und fehlende Infrastruktur erschwert, was den Beruf der Bergretterinnen und Bergretter zu einer anspruchsvollen und risikoreichen Aufgabe macht.

Das letztendlich eine Massenbewegung auslösende Ereignis kann sehr unterschiedlich sein. Dazu zählen:
- menschliche Aktivitäten (z. B. Skitourengeher, Baumaßnahmen, Forstarbeiten),
- natürliche Erosion,
- Wetterextreme (z. B. Starkniederschlag),
- tektonische Aktivitäten,
- voranschreitender rezenter Klimawandel, wodurch zum Beispiel gefrorene und damit stabile Hänge abtauen.

Ist ein Naturereignis Auslöser für weitere Prozesse, spricht man von **kaskadischen Effekten**. Ein Beispiel hierfür wäre ein Erdbeben in einer Hochgebirgsregion, das in seiner Folge eine gravitative Massenbewegung auslöst, die wiederum einen See aufstaut, der sich nach einiger Zeit in einer Sturzflut über tieferliegende Regionen ergießt.



Lockerschneelawine
Schneeteilchen geraten in Bewegung und reißen in Kettenreaktion andere Schneeteilchen mit. Der Schnee findet dabei auf vereistem Untergrund keinen Halt. Die Lawinen haben einen punktförmigen Anriss und breiten sich birnenförmig aus. Man unterscheidet zum einen trockene Lockerschneelawinen, die vor allem dann auftreten, wenn Neuschnee sich noch nicht verfestigt hat. Zum anderen entstehen nasse Lockerschneelawinen (auch Nassschneelawinen), wenn Tauwetter die oberste Schneeschicht durchfeuchtet.

Schneebrettlawine
Im Hang bauen sich Spannungen auf, die die Schneedecke abstützen. Wenn das Gleichgewicht zusammenbricht, zum Beispiel durch Wanderer oder Skifahrer, pflanzt sich der Bruch nach allen Seiten fort. Nasser Neuschnee oder Altschnee bricht dann in einer großen Tafel ab, die beim Abgleiten in einzelne Schollen zerfällt.

M4 Arten von Schneelawinen

M1 Schutz von Straßen mithilfe von Galerien

M2 Wildbachverbauung

Ist ein Schutz vor alpinen Gefahren möglich?

Durch eine zunehmende menschliche Nutzung der alpinen Räume kommt es immer wieder zu Gefahrensituationen. Um den Naturgefahren im Hochgebirge entgegenzuwirken, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Doch sie sind oft aufwendig.

Grundsätzlich unterscheidet man bei Schutzmaßnahmen zwischen kurzfristigen (z. B. Warnungen, kontrollierte Auslösungen, Evakuierungen) und langfristigen Maßnahmen, wie zum Beispiel Verbauungen (M1 – M3, M6) oder Forstschutz (M7). Sie alle zielen darauf ab, potenziellen Schaden von Mensch und Infrastruktur abzuwenden oder zu minimieren.

Natürliche Schutzmaßnahmen stehen oft in einem Spannungsfeld zwischen voranschreitender Nutzung der Hochgebirgsräume (z.B. bauliche Eingriffe für neue Skigebiete, ▸ S. 180 – 183) und einem nachhaltigen Schutz durch naturbelassene Bergvegetation. Problematisch ist jeglicher menschliche Eingriff in die Vegetationsbedeckung, insbesondere der montanen Waldstufe und der subalpinen Krummholzstufe. So ist eine intakte und diverse Vegetationsdecke der beste Schutz gegen Erosion und die damit einhergehende Gefahr einer gravitativen Massenbewegung. Wird die empfindliche Pflanzendecke der Hochgebirgsräume einmal geschädigt oder gar vollständig abgetragen, dauert eine vollständige Regeneration unter alpinen Bedingungen oft Jahrzehnte.

Natürlicher Lawinenschutz durch den Bergwald

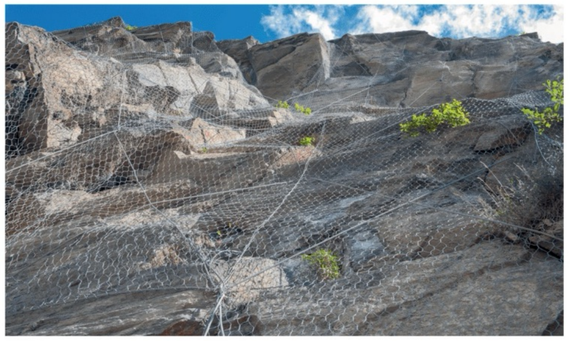
Bergwälder bilden oft die Voraussetzung dafür, dass ein Hochgebirgsraum bewohnbar bleibt (M7). Allein in Bayern sind daher von den etwa 260000 Hektar Bergwald ca. 60 Prozent geschützt. Den effektivsten Schutz vor Lawinen bietet ein Bergwald dann, wenn die Bäume ungleichaltrig, gemischt und dicht gewachsen sind. So wird verhindert, dass sich zwischen den Bäumen eine gleichmäßige Schneedecke bilden kann. Doch aufgrund der intensiven Nutzung im Alpenraum reichen Bergwälder als Schutz nicht mehr aus. Spezielle Baumaßnahmen – oft in Kombination mit dem Bergwald – sind nötig, um größere Schäden in Siedlungsgebieten zu vermeiden.

Monitoring

Zusätzlich zu allen Schutzmaßnahmen ist ein möglichst genaues Monitoring von Risikogebieten unerlässlich, um auf potenzielle Veränderungen und Gefahren schnell reagieren zu können. Neben traditioneller Beobachtung und Ausweisen von Gefahrenstufen (M8) gab es in jüngerer Vergangenheit durch technische Neuerungen und gesteigertes Forschungsinteresse bemerkenswerte Fortschritte (▸ S. 170/171).

AUFGABEN

1. Beschreiben Sie die Funktionsweise verschiedener Schutzmaßnahmen (M1 – M3, M6, M7, Text).
2. Ergänzen Sie in Ihrer Mindmap (▸ S. 166: Aufgabe 1) Möglichkeiten, den besagten Naturgefahren zu begegnen (Internet).
3. Vergleichen Sie das Bayerische Forstgesetz von 1852 mit dem Bayerischen Waldgesetz von 2005 in Hinblick auf die Schutzfunktion des Waldes (M4).
4. Informieren Sie sich, welche Möglichkeiten es gibt, proaktiven Lawinenschutz zu betreiben (Internet).
5. E↑ „Ein Lawinenrettungsset macht winterliche Bergtouren für jedermann sicher." Erklären Sie die Funktionsweise der einzelnen Komponenten eines Lawinenrettungssets und nehmen Sie kritisch Stellung zu dieser Aussage (M5).
6. Erarbeiten Sie ausgehend von M8 (Un-)Gunstfaktoren für das Auftreten von Hochwasser, Lawinen, Rutschungen und Felsstürzen heraus.



M3 Bergsicherung mit Metallnetzen

M6 Lawinenverbauung

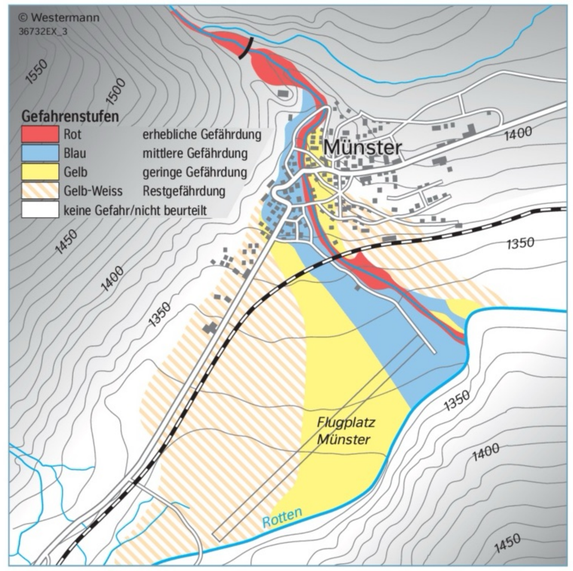
Bayerisches Forstgesetz 1852, Artikel 35
Schutzwaldungen [...] sind [...] Waldungen
(1) auf Bergkuppen und Höhenzügen, an steilen Bergwänden, Gehängen und sogenannten Leitern;
(2) auf Steingerölle[n] des Hochgebirges, auf den Hochlagen der Alpen und in allen Oertlichkeiten, wo die Bewaldung zur Verhütung von Bergstürzen und Lawinen dient, oder wo durch das Entfernen des Waldes den Sturmwinden Eingang verschafft würde;
(3) in Ortslagen, wo von dem Bestehen des Waldes die Verhütung von Sandschollen oder die Erhaltung der Quellen oder Flussufer abhängig ist.

Bayerisches Waldgesetz 2005, Artikel 10
Schutzwald ist Wald
1. in den Hoch- und Kammlagen der Alpen und der Mittelgebirge,
2. auf Standorten, die zur Verkarstung neigen oder stark erosionsgefährdet sind,
3. der dazu dient, Lawinen, Felsstürzen, Steinschlägen, Erdabrutschungen, Hochwassern, Überflutungen, Bodenverwehungen oder ähnlichen Gefahren vorzubeugen oder die Flussufer zu erhalten.

M4 Bayerische Forstgesetze im Vergleich

E↑ **M5** Lawinenrettungsset

M7 Bergwald als Lawinenschutz



M8 Gefahrenkarte gegen Hochwasser, Lawinen, Rutschungen und Felsstürze (Münster, Schweiz)

M1 Hochvogel – Zeitungsmeldungen aus dem Jahr 2022

Drohende Gefahr vom Hochvogel?

Der Hochvogel ist ein 2592 Meter hoher Berg in den Allgäuer Alpen und ein beliebtes Ausflugsziel für geübte Bergwanderinnen und -wanderer. Sein Gipfel markiert die Grenze zwischen Deutschland und Österreich. Schlummert hier eine akute Bedrohung für die gesamte Umgebung?

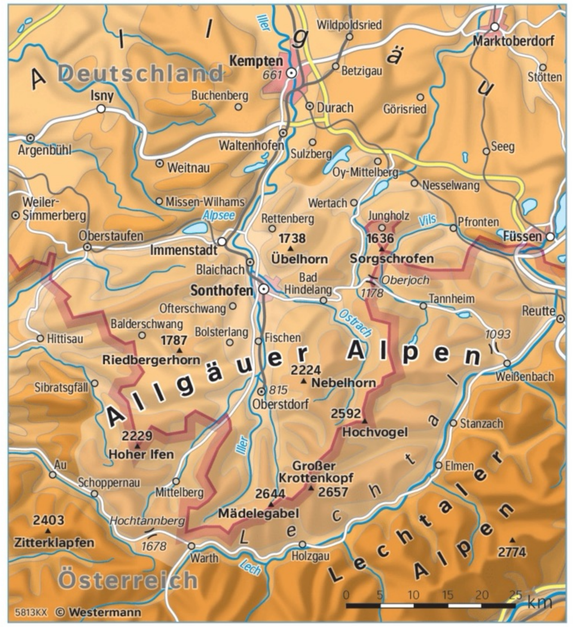
Obwohl lediglich der dreizehnthöchste Gipfel der Allgäuer Alpen, dominiert der Hochvogel weite Teile der umliegenden Region. Dies liegt daran, dass der Hochvogel frei im Ostteil der Gebirgsgruppe steht und die nächstgelegenen Gipfel um 200 bis 300 Meter überragt. Gut 1560 Höhenmeter müssen Wanderinnen und Wanderer vom Parkplatz Hinterhornbach zurücklegen, ehe sie auf dem Gipfel des Hochvogels stehen.

Jüngst erlangte der Hochvogel aber nicht wegen seiner Aussicht Bekanntheit, sondern ein drohender Felssturz von immensem Ausmaß bestimmte die Schlagzeilen (M1). Bereits in der Vergangenheit kam es am Hochvogel zu spektakulären Felsstürzen. Die Chronik des Prinz-Luitpold-Hauses, das auf halber Strecke zum Gipfel des Hochvogels liegt, berichtet beispielsweise von einem enormen Felssturz im Mai 1935. Dabei stürzten mehrere Tausend Kubikmeter Gestein ins Tal. Auch in den Jahren 2005, 2007 und 2016 kam es zu Massenbewegungen, wobei letztere sogar ein Volumen von mehreren Zehntausend Kubikmetern Gestein erreichte. Seit 2014 vergrößert sich nun eine Spalte am Gipfel des Hochvogels (M3). In der Folge wurden verschiedene Bergrouten rund um den Hochvogel immer wieder von den Behörden gesperrt.

Ebenfalls seit 2014 führt ein Team der Technischen Universität München (TUM) unter der Leitung von Professor Dr. Krautblatter Messungen am Hochvogel durch, um Veränderungen und drohende Gefahren möglichst früh zu bestimmen (M4). Das Anbringen von hochmodernen Messinstrumenten rund um die Gipfelregion des Hochvogels ist ein ambitioniertes und arbeitsintensives Projekt (M5). Im Zuge dessen entstand auch ein detailgetreues 3D-Modell des Hochvogels, um Veränderungen und Risse möglichst genau beschreiben und analysieren zu können. Die Spalte, die sich durch den Gipfel des Hochvogels zieht, wird von nun an rund um die Uhr überwacht und die Daten werden drahtlos übermittelt. Die Forscherinnen und Forscher versuchen, Methoden zu entwickeln, einen drohenden Felssturz mit einer Vorlaufzeit von zwei bis drei Tagen prognostizieren zu können.

AUFGABEN

1. Verorten Sie den Gipfel des Hochvogels (Atlas, M2).
2. Beurteilen Sie ausgehend von M1 und unter Verwendung eines GIS (z. B. BayernAtlas) das Risikopotenzial einer Besteigung des Hochvogels (▸ S. 227).
3. Erläutern Sie das Vorgehen und die Methodik der Forscherinnen und Forscher am Hochvogel (M4, M5).
4. In der Vergangenheit kam es bereits öfters zu Sperrungen von prominenten Gipfeln aus verschiedenen Gründen. Diskutieren Sie Pro und Kontra einer Sperrung des Hochvogels (▸ S. 235).
5. Recherchieren Sie aktuelle Meldungen rund um den Hochvogel. Gehen Sie dabei auch auf mögliche Folgen für Mensch und Infrastruktur ein (▸ S. 228).



M2 Lage des Hochvogel in den Allgäuer Alpen

M3 Die sich vergrößernde Spalte im Hochvogel (2022)

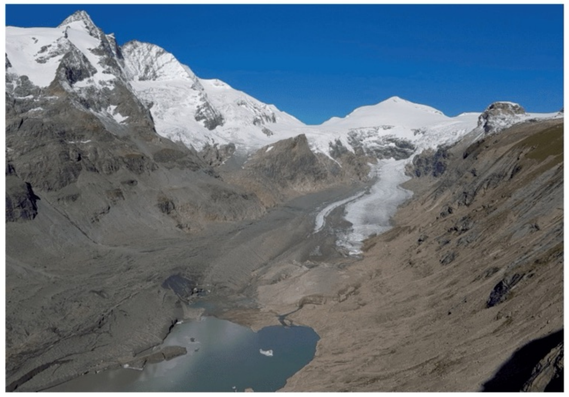
Wie sind Sie und Ihr Team auf den Hochvogel aufmerksam geworden?
Michael Krautblatter: Der Hochvogel ist aufgrund seiner Beschaffenheit und seiner Geschichte in Forscherkreisen nicht unbekannt. Die konkrete Initiative für das Forschungsprojekt kam aber von behördlicher Seite: Die Tiroler Landesgeologie und das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) sind an uns herangetreten und haben uns beauftragt, eine aktuelle Bestandsaufnahme der Situation am Hochvogel vorzunehmen. Wir haben dann in den Folgejahren ein Projekt mit dem bayerischen Wirtschafts- und Umweltministerium zu Frühwarnsystemen entwickelt.

Welche Maßnahmen laufen aktuell und welche Schwierigkeiten gilt es zu meistern?
Michael Krautblatter: Ziel der Forschung und der Arbeit ist es, ein hochverfügbares Frühwarnsystem zu entwickeln und in Einsatz zu bringen. Hochverfügbar meint hierbei, dass die Methoden und Maßnahmen, die wir aktuell am Hochvogel durchführen, ohne große Vorlaufzeit auch in anderen Gebieten adaptiert werden könnten. Der Hochvogel ist also praktisch für uns eine Art Außenlabor, mit dessen Hilfe wir übertragbare Daten erarbeiten. Anders als in einem echten Forschungslabor haben wir am Gipfel des Hochvogels aber mit der extremen Witterung, dem Schneefall und regelmäßigen Blitzeinschlägen zu kämpfen, die die hochsensible Technik vor große Herausforderungen stellen.

Mit welchen zukünftigen Entwicklungen rechnen Sie?
Michael Krautblatter: Prinzipiell ist es so, dass durch den voranschreitenden gegenwärtigen Klimawandel alpine Gefahren zunehmen werden, und das in einer Geschwindigkeit, in der bauliche Maßnahmen nicht mithalten können. Daher werden Frühwarnsysteme der Schlüssel zum Umgang mit diesen Naturgefahren werden. Auch wir in der Forschung durchlaufen hierbei eine steile Lernkurve. Unsere theoretische Forschung geht in diesem Feld nahezu Hand in Hand mit der praktischen Anwendung.

M4 Interview mit Dr. Michael Krautblatter, Professor für Hangbewegungen an der TU München

M5 Verwendete Messtechniken am Hochvogel (Auswahl)



M1 Gletscher Pasterze (Großglockner, Österreich) 1936 (links) und 2021

E↑ Gletscher und Permafrostgebiete in Zeiten des rezenten Klimawandels

Gletscher sind Zeugen der klimatischen Vergangenheit und wichtige Indikatoren des aktuellen Klimawandels. Ihr Eis ist in Bewegung und schafft dabei zusammen mit den Schmelzwässern vielfältige Erosions- und Akkumulationsformen. Doch wie wirkt sich der rezente Klimawandel auf den Formenschatz und die Dynamik von Gebirgsgletschern aus?

Gletscher entstehen ausschließlich auf dem Festland und nur oberhalb der Schneegrenze. Dort fällt mehr Schnee, als im Jahresdurchschnitt wieder abtaut, sodass sich in Firnmulden immer neue Schichten ansammeln. Die Schneekristalle bilden ein lockeres Gefüge mit noch 90 Prozent Volumenanteil Luft. Jede weitere Überlagerung komprimiert den Schnee und reduziert den Luftanteil durch Zerbrechen, aber auch durch Antauen und Wiedergefrieren der Schneekristalle (**Regelation**). Der Altschnee (**Firn**) enthält nur noch 20 bis 50 Prozent Luft und wandelt sich bei steigendem Überlagerungsdruck in körniges Firneis und zuletzt in Gletschereis um, das zwischen den Hohlräumen nur noch etwa zwei Prozent Luft enthält. Bei ausreichender Mächtigkeit beginnt das Eis aufgrund seiner Eigendynamik und der Gravitation zu fließen. Die Bewegung der Ströme ist letztlich die Ursache für den alle Glaziallandschaften prägenden Formenschatz.

AUFGABEN

Gletscherlandschaften

1. Beschreiben und vergleichen Sie die beiden Gletscheraufnahmen (M1).
2. Stellen Sie die Entstehung sowie die Funktionen von Gletschern für den Menschen dar (Text, M2).

Permafrost

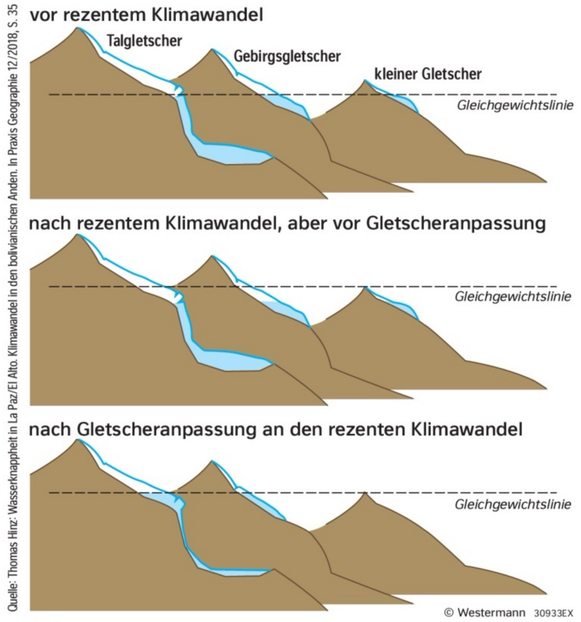
3. Erläutern Sie die Verteilung und Funktion von Permafrostböden in den Alpen (M4, Text).

Klimawandelauswirkungen

4. Stellen Sie Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf Gletscher- und Permafrostgebiete in Hochgebirgen dar (Text, M2 – M4).
5. Recherchieren Sie weitere Vergleichsabbildungen (vgl. M1) sowie Kennzahlen für Gletscherverluste.

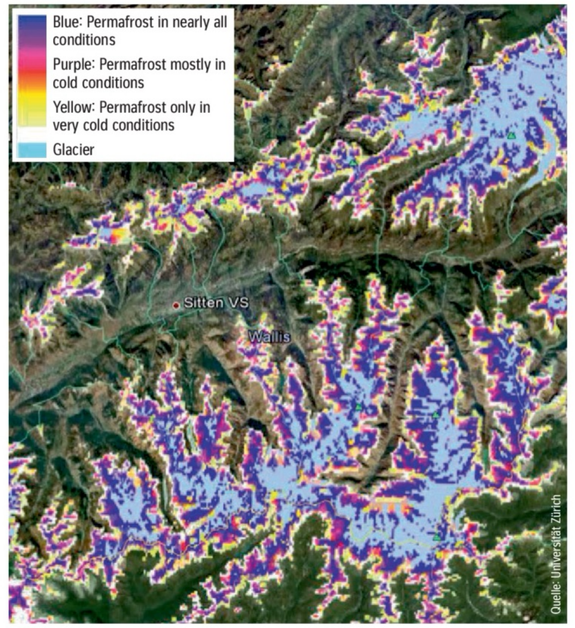
„Gletscher sind sehr sensibel gegenüber Temperaturveränderungen. Zu den bisher am deutlichsten sichtbaren Auswirkungen der [rezenten] Klimaerwärmung zählt der weltweite Rückzug der Gebirgsgletscher. Sie schrumpfen mittlerweile viermal so schnell wie noch vor 30 Jahren – in den Anden und Alaska ebenso wie im Himalaya und in den Alpen. In der Alpenregion haben die Gletscher seit Beginn der industriellen Revolution mehr als die Hälfte ihrer Masse verloren. Während die Alpengletscher zwischen 1975 und 2000 noch ein Prozent an Volumen pro Jahr einbüßten, hat sich die Verlustrate zu Beginn des 21. Jahrhunderts fast verdreifacht. Gletscher sind für viele Regionen eine der wichtigsten Trinkwasserquellen, da sie im Winter wertvolles Süßwasser in Form von Schnee und Eis ansammeln und dieses im Sommer als Schmelzwasser an die Flüsse abgeben. Der Rückzug der Eismassen betrifft dabei zum Beispiel zahlreiche Städte im Einzugsbereich der Gletscher des Himalaya, die unter anderem die sieben größten Flüsse Asiens speisen. Von diesen hängen viele Ökosysteme und die Wasserversorgung Hunderter Millionen von Menschen ab."
Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M2 Die Bedeutung von Gletschern



Quelle: Thomas Hinz: Wasserknappheit in La Paz/El Alto. Klimawandel in den bolivianischen Anden. In Praxis Geographie 12/2018, S. 35

M3 Schematische Darstellung klimabedingter Gletscherveränderungen



M4 Ausschnitt aus einer Karte zur Permafrostverteilung in der Schweiz

Permafrost in Hochgebirgen

Unter Permafrost im Hochgebirge versteht man Böden, Schutthalden oder Felswände, die mindestens zwei Jahre hintereinander Temperaturen unter 0 °C aufweisen. Somit ist Permafrost rein durch die Temperatur definiert und kann unabhängig vom Eisgehalt in allen Materialien vorkommen. Im Vergleich zu den imposanten Gebirgsgletschern bleibt der Permafrost häufig unsichtbar. Dennoch ist er ein wichtiges Element in der Kryosphäre von Hochgebirgen. Neben seiner Funktion als sensibler Klimaanzeiger erfüllt er eine bedeutende Rolle in Bezug auf Hangstabilität, Hydrologie und Naturgefahren.

Der eigentliche Permafrost liegt dabei unter der aktiven Auftauschicht. Das ist die Schicht eines Bodenprofils, welche jeden Sommer um eine gewisse Mächtigkeit auftaut. In den Alpen ist die Auftauschicht in der Regel ein bis sechs Meter mächtig.

Nach unten wird die absolute Tiefe des Permafrostkörpers durch den geothermischen Wärmefluss aus dem Erdinneren begrenzt. Permafrost kann bis in Tiefen von mehr als 80 Meter vordringen. Sein Vorkommen hängt dabei hauptsächlich von der Lufttemperatur ab. In den Alpen korreliert diese stark mit der Höhenlage und der Hangexposition. Ab rund 3000 m ü. NHN ist an Südhängen und bereits ab 2400 – 2600 m ü. NHN an Nordhängen mit Permafrost zu rechnen (M4). Bodentemperaturmessungen im gesamten Alpenraum zeigen jedoch ein einheitliches Bild: In den vergangenen zehn Jahren wurde eine deutliche Erwärmung bis in tiefe Bodenschichten registriert. Laut Klimaprognosen könnte die vertikale Permafrostgrenze bis Mitte dieses Jahrhunderts um bis zu 300 Meter höher liegen.

Dies ist besonders problematisch, da Permafrost an Felswänden oder Steilhängen maßgeblich zur Hangstabilität beiträgt: Je kälter die Bodentemperatur, desto höher ist die Hangstabilität. Mit einsetzender Erwärmung wird das Eis-Fels-Gemisch weicher, d. h., das Gemisch beginnt sich plastisch zu verformen. Die niedrigste Hangstabilität wird dabei aber nicht beim Überschreiten der 0 °C-Marke erreicht, sondern bereits bei Werten um – 2 °C. Oft reichen also kleine Erwärmungen des Permafrosts aus, um Felsstürze oder Hangbewegungen auszulösen. So wurden in den letzten Jahren vermehrt Felsstürze in Permafrostgebieten registriert. Die Tauprozesse stellen zudem eine Gefahr für den Tourismus und Einheimische dar. Alpine Schutzhütten sowie generell Infrastruktur, die auf Permafrost gebaut wurden, beginnen abzusacken. Beliebte Wanderrouten sind zunehmend steinschlaggefährdet.

Eine weitere Folge der fortschreitenden Schmelze sind Bergunfälle im Bereich von Gletschern, wie sie sich bei einem Gletschersturz an der Marmolata (Norditalien) ereignet haben. Bedingt durch die ungewöhnlich warmen Temperaturen löste sich im Juli 2022 unerwartet ein gigantischer Eisblock.

M1 Palcaraju-Gletscher mit Palcacocha-Gletschersee inmitten von End- und Seitenmoränen (2020)

M2 Der peruanische Bergbauer Saúl Luciano Lliuya

E↑ Weshalb verklagt ein peruanischer Bergbauer einen deutschen Konzern?

In einer globalisierten Welt haben vermeintlich regionale Eingriffe in die Natur häufig Konsequenzen für andere Teile der Erde beziehungsweise sogar weltweite. Warum jedoch verklagt der peruanische Bergbauer Saúl Luciano Lliuya ausgerechnet einen deutschen Großkonzern?

Landwirt Saúl Luciano Lliuya lebt in einem Dorf nahe der 120 000-Einwohner-Stadt Huaraz in den peruanischen Anden (M3). Der Ort liegt unterhalb des imposanten Palcaraju-Gletschers. Seit 1880 wurde in der Region ein Lufttemperaturanstieg um circa 1 °C registriert. Dies führte zu einer anhaltenden Gletscherschmelze, wodurch sich das Gletscherende infolge des Abschmelzens nun 200 Meter höher befindet. Durch die Schmelzwässer stieg gleichzeitig der Pegelstand des Palcacocha-Sees oberhalb von Huaraz. Während die Fläche des Sees zwischen 1948 und 1995 lediglich leicht von 0,06 auf 0,08 Quadratkilometer stieg, nahm sie bis 2016 drastisch zu (0,49 km²).

Lliuya sieht durch die Gletscherschmelze sein Haus sowie seine Lebensgrundlage als Bergbauer zunehmend bedroht. Zwar sei es unwahrscheinlich, dass der Moränendamm (M1) bricht, aber ein Erdrutsch, ein Gletschersturz oder eine Lawine könnten jederzeit eine Flutwelle verursachen, die über den Damm schlägt. Für Saúl Luciano Lliuya stellte sich nun die Frage, wer für die Misere verantwortlich ist und für Schutzmaßnahmen sowie mögliche Kompensationen für Klimafolgeschäden aufkommen müsse.

Der konsumintensive Lebensstil in Europa geht mit einem hohen Energieverbrauch einher, der nach wie vor zu großen Teilen durch die Verbrennung fossiler Energieträger gedeckt wird. Daher argumentierten Vertreterinnen und Vertreter von Entwicklungsländern, dass Industrienationen, deren Wohlstand auf den Industrialisierungsprozessen der letzten beiden Jahrhunderte basiert, Ausgleichszahlungen an ärmere Länder leisten sollten, in denen heute bereits Klimawandelfolgen in Form von beispielsweise Dürren oder Überschwemmungen spürbar sind.

Besonders einen deutschen Großkonzern, der als Betreiber von Kohle- und Gaskraftwerken zu den weltweit größten CO_2-Emittenten zählt, hat Saúl Luciano Lliuya als verantwortlich identifiziert. Durch die Verbrennung von Braunkohle und Erdgas zur Energiegewinnung würden durch den Betrieb enorme Mengen an CO_2 ausgestoßen, wodurch der anthropogene Treibhauseffekt verstärkt und die globale Erwärmung vorangetrieben würde. Der Konzern vereinigt 0,47 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen auf sich und solle in den Augen des peruanischen Bergbauers folglich auch für ein halbes Prozent der notwendigen Schutzmaßnahmen für Huaraz aufkommen.

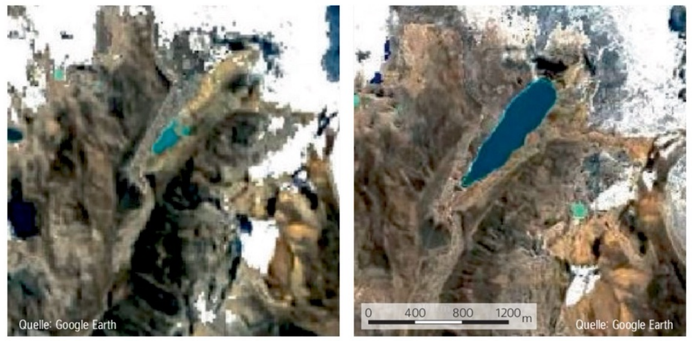
Daraufhin reiste der peruanische Bergbauer ins 7000 Kilometer entfernte Essen und reichte vor einem deutschen Landgericht Klage gegen den Konzern ein. Das Gericht lehnte den Anspruch in erster Instanz ab. Das Oberlandesgericht in Hamm sah die Sachlage allerdings anders und nahm das Verfahren wieder auf. Hilfreich war hierbei wohl auch eine Studie der University of Oxford (Januar 2021), die zu dem Ergebnis kam, dass sich die Gletscherschmelze nicht durch natürliche Klimaschwankungen erklären lasse, sondern vielmehr mit einer Wahrscheinlichkeit von über 99 Prozent auf den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt zurückzuführen sei. Eine Urteilsverkündung steht noch aus (Stand: Mai 2023).

Der Palcacocha-See stellt dabei keinen Einzelfall dar. Ein internationales Forscherteam konnte rekonstruieren, dass etwa ein dem El-Morado-Gletscher in Chile vorgelagerter See seit 1955 auf das Neunzehnfache seiner ursprünglichen Fläche angewachsen ist. Beispiele für Siedlungsgebiete, die durch vergleichbare Prozesse bedroht sind, finden sich ebenso in Nepal oder Bhutan.

Auch in Deutschland kommt es immer wieder zu Kontroversen um den Energiekonzern. Für die Erweiterung eines Braunkohletagebaus sollte ein uralter Eichenwald im Hambacher Forst gerodet werden, in dem unter anderem viele geschützte Arten heimisch sind. Unter großem Protest wurde der Ort Lützerath in Nordrhein-Westfalen aus dem gleichen Grund 2023 komplett abgerissen.

Während der Konzern argumentierte, hierdurch die Stromversorgung sowie Tausende Arbeitsplätze sichern zu wollen, protestierten Umweltaktivistinnen und -aktivisten vehement (M5). Gleichzeitig demonstrierten allerdings auch Zehntausende Bürgerinnen und Bürger gegen einen schnellen Ausstieg aus der Braunkohle. Etwa 100 000 Arbeitsplätze sind in Deutschland an die Kohleverstromung geknüpft. Hat also Saúl Luciano Lliuyas Klage ihre Berechtigung?

M3 Huarez in den peruanischen Anden



M4 Palcacocha-Gletschersee 1996 und 2020 (rechts)

M5 Proteste gegen den Abriss von Lützerath (2023)

AUFGABEN

1. Stellen Sie Hypothesen zur Beantwortung der Ausgangsfrage auf.
2. Verorten Sie Huaraz (M3) im Atlas sowie mithilfe eines Online-Kartendienstes und bewerten Sie die Gefährdungslage für die Stadt.
3. Erstellen Sie zur Beantwortung der Ausgangsfrage eine Conceptmap, in welcher Sie die Zusammenhänge (Sachinformationen, Ursachen, Auswirkungen) auf verschiedenen Maßstabsebenen (▸S. 210) darstellen (M1 –M5, QR-Code für Vorlage, ▸S. 225).
4. Formulieren Sie ethische Fragestellungen, die mit der Thematik einhergehen, und diskutieren Sie diese im Kurs (▸S. 240).
5. Rollenspiel: Gerichtsverhandlung
   a) Bereiten Sie in Gruppen verschiedene Rollen vor (z. B. Richterin, Saúl Luciano Lliuya, Vertreter des Energiekonzerns, Umweltaktivistin, Wissenschaftlerin).
   b) Führen Sie die Gerichtsverhandlung als Rollenspiel durch.

Digital+
Vorlage Conceptmap
https://schule.diercke.de
Webcode: WES-151945-176

M1 Stau auf der Brenner-Autobahn

AUFGABEN

1. Erstellen Sie einen Zeitstrahl mit bedeutenden Ereignissen des Alpentransit (Text, Internet).
2. Analysieren Sie die Graphiken M4 und M5 und erstellen Sie ausgehend von Ihrer bisherigen Erarbeitung eine Conceptmap mit dem Titel „Alpentransit – Hochgebirge im Dauerstress“ (▸S. 225).
3. „Transittäler sind monofunktionale Verkehrsgassen.“ Nehmen Sie unter Einbezug von M1 und M3 Stellung zu dieser Aussage.
4. Diskutieren Sie, mit welchen Schwierigkeiten der karthargische Heerführer Hannibal bei seiner Alpenüberquerung (M2) zu kämpfen hatte. Informieren Sie sich im Internet über seine Marschroute und vollziehen Sie selbige mit Ihrem Atlas nach.
5. Planen Sie eine Reise von Ihrem Heimatort aus nach Mailand. Ermitteln Sie die Reisedauer, die zurückgelegten Kilometer, die Kosten und den CO_2-Ausstoß jeweils für die Verkehrsmittel Pkw, Bus, Bahn und Flugzeug (Internet, Atlas). Halten Sie Ihre Ergebnisse tabellarisch fest.

Über alle Berge – Transitraum Alpen

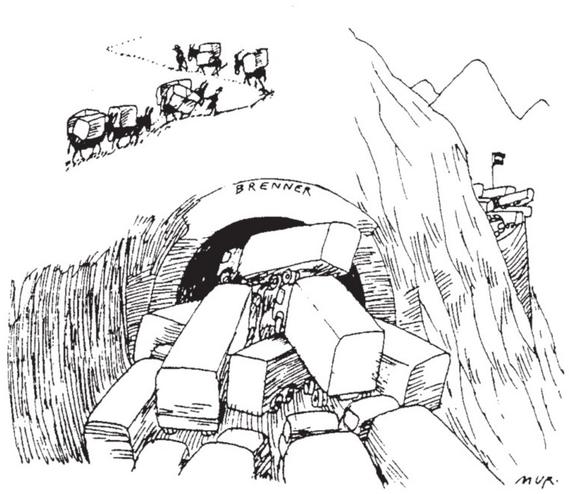
Die Alpen gelten als das am besten erschlossene Hochgebirge der Welt, wobei ein Ende der Erschließung nicht in Sicht ist. Da die größte zentraleuropäische Gebirgskette eine naturräumliche Barriere zwischen großen und florierenden Wirtschaftszentren darstellt, ruft sie enorme Verkehrsströme hervor.

Der Überlieferung nach benötigte der karthargische Heerführer Hannibal für seine Alpenüberquerung im Jahr 218 v. Chr. 16 Tage (M2). Dass er hierbei 50 000 Soldaten, 9000 Reiter und 37 Kriegselefanten mit sich geführt haben soll, ist bemerkenswert und kann als Startschuss für eine beispiellose Transitbewegung gesehen werden.
Seit Beginn des Ausbaus von Transitrouten haben Ingenieure mit der markanten und herausfordernden Topographie zu kämpfen. So gibt die Lage von Bergen und Tälern die Verkehrsführung weitestgehend vor, was zur Folge hat, dass sich der stetig zunehmende alpenüberquerende Verkehr auf ausgewählte Täler konzentriert. Einzelne Regionen wurden so zu *Hot Spots* des Verkehrsaufkommens.
Mit dem Ausbau der Verkehrswege einher gehen Gefahren für die Natur. Beispiele sind eine hohe Flächenversiegelung, ein gestörter Ablauf von (Regen-)Wasser oder Bergstürze, zudem eine hohe Schadstoffbelastung durch die Vielzahl an Fahrzeugen auf engem Raum. Besonders in Tälern ist die Situation problematisch. Der Lärm von Motorengeräuschen ist weithin hörbar und bei Inversionswetterlagen können die Abgase der Fahrzeuge nicht nach oben abziehen (M5). Dies wiederum schädigt den dortigen Bergwald inklusive seiner Schutzfunktion (▸S. 168/169) und setzt somit die Verkehrsinfrastruktur einer zusätzlichen Gefahr aus.
Die Installation und Aufrechterhaltung dieser Verkehrswege obliegt den betroffenen Ländern, allen voran Österreich und der Schweiz, die wiederum versuchen, durch Maut- und Vignettengebühren ihre Kosten zu decken.

Chronologie des Ausbaus

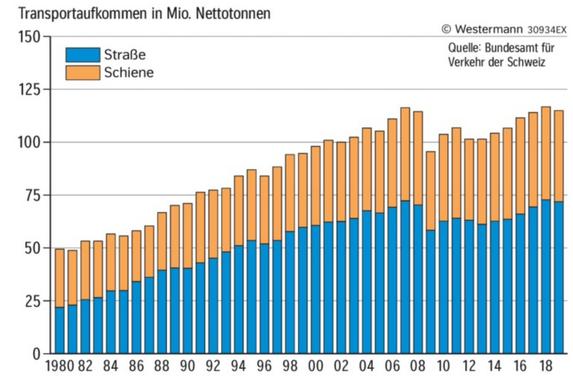
Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden die ersten permanent nutzbaren Alpenpässe geplant. Im Jahr 1867 durchquerte der erste Zug die Alpen, eine für die damalige Zeit technische Meisterleistung. Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung und einer zunehmenden Motorisierung der Gesellschaft in den 1950er-Jahren kam es zu einem starken Anstieg des Güter- und des Individualverkehrs. Dies wiederum zog den Neu- und Ausbau überregionaler Straßen nach sich. Ein Meilenstein des Alpentransit war im Jahr 1972 die Eröffnung der Brennerstraße als erste alpenüberquerende Autobahn (M1), die mit 1370 Meter über NHN den niedrigsten Weg über die Alpen markiert und dadurch 40 Prozent des gesamten

M2 Zug Hannibals über die Alpen (218 v. Chr.)

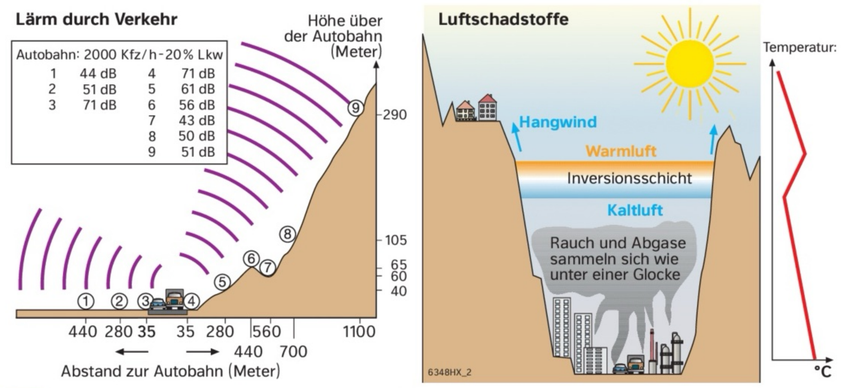


M3 Karikatur

Güterverkehrs auf sich vereint. Allein 2019 passierten knapp 2,7 Millionen Lkw den Pass.
Bis heute sind viele weitere, technisch immer anspruchsvollere Transitrouten gebaut worden, darunter zahlreiche Tunnel, wie der 1980 eröffnete Gotthardstraßentunnel. Die technische Entwicklung spiegelt sich auch in der Zunahme des Güter- und Personenverkehrs auf den Transitwegen wider (M4). Der geplante Brenner-Basistunnel (S. ▸178/179) soll die angespannte Situation weiter entschärfen.
Seit 1995 existiert mit der Alpenkonvention ein aus Deutschland, Frankreich, Italien, Liechtenstein, Monaco, Österreich, Schweiz und Slowenien bestehendes Bündnis zum Schutz der Alpen. Ein Schwerpunkt in der Zusammenarbeit ist die Verkehrsentwicklung. Ziel ist es, die wirtschaftlichen Verflechtungen aufrechtzuerhalten und sogar noch zu intensivieren, gleichzeitig aber Umwelt sowie Anwohnerinnen und Anwohner zu entlasten. Ein zentraler Weg dorthin soll die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene sein. Neben reinen Container-Zügen ist auch der sogenannte Huckepack-Verkehr, bei dem ganze Lkws auf Eisenbahnanhänger fahren und so transportiert werden, eine der Optionen.



M4 Transportaufkommen im alpenquerenden Güterverkehr (1980 – 2019)



M5 Lärm- und Schadstoffbelastung in Tälern

M1 Baustelle am Brenner-Basistunnel

E↑ Der Brenner-Basistunnel – ein Bauprojekt der Superlative

Der Brenner-Basistunnel (BBT) ist eines der ambitioniertesten Bauprojekte weltweit. Die Staaten Österreich und Italien planen die Städte Innsbruck (Österreich) und Franzensfeste (Italien) mit einem 55 Kilometer langen Eisenbahntunnel zu verbinden.

Ebenfalls angeschlossen werden soll der bereits seit 1994 südlich von Innsbruck verlaufende Inntaltunnel (M3). Somit erhöht sich die Gesamtlänge des BBT auf 64 Kilometer zwischen der österreichischen Gemeinde Tulfes und Franzensfeste; dies wäre nach der Fertigstellung die zurzeit längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt.

AUFGABEN

1. Informieren Sie sich auf der offiziellen Website des Brenner Basistunnels (BBT) über den aktuellen Baufortschritt.
2. Bewerten Sie die Nachhaltigkeit des Projektes mithilfe des Nachhaltigkeitsvierecks (M1 – M3, M6, ▸ S. 211: M4).
3. „Eine Zugfahrt durch den Tunnel wird sicherer sein als eine Fahrt über die Passstraße." Diskutieren Sie diese These (M2, M3, M5, ▸ S. 235).
4. Recherchieren Sie die Eckdaten eines Tunnelprojekts Ihrer Wahl und vergleichen Sie diese mit den Eckdaten des Brenner-Basistunnels (M4, ▸ S. 228).
5. Diskutieren Sie, welche Orte in Europa Ihrer Meinung nach ebenfalls durch einen Eisenbahntunnel verbunden werden sollten. Begründen Sie Ihre Wahl und skizzieren sie Chancen und Risiken bei der Umsetzung dieses fiktiven Projekts (Atlas).

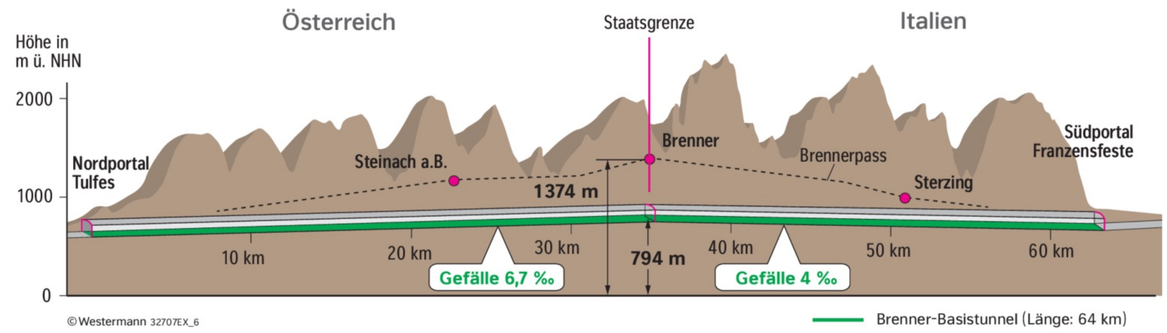
Da die Eisenbahnstrecke, auf der hauptsächlich Güter, aber auch Personen transportiert werden sollen, weitestgehend flach verläuft, spricht man von einem „Basistunnel" oder auch einer „Flachbahn", die auf der Basishöhe der Alpen verläuft. Da der BBT Teil des Transeuropäischen Verkehrsnetztes (Ten-V) ist, beteiligt sich auch die Europäische Union mit bis zu 50 Prozent an den Baukosten. Die Fertigstellung ist für 2032 geplant (Stand 2023).

Der Bau des Brenner-Basistunnels

Die Planungen für das Großprojekt laufen bereits seit Ende der 1980er-Jahre. Vor dem eigentlichen Bau wurden über 200 Erkundungsbohrungen getätigt. Auch ein Erkundungsstollen wurde errichtet, der mittig zwölf Meter unterhalb der beiden geplanten Hauptröhren verläuft (M5). So wussten die Beteiligten bereits vor dem Bau der beiden Hauptröhren, welche Gesteinsarten durchlaufen werden. Je nach geologischer Situation kommen beim Bau 50 Prozent Sprengungen und 50 Prozent Tunnelbohrmaschinen zum Einsatz. Ein Drittel des Aushubs kann als Rohstoff erneut verwendet werden. Der Erkundungsstollen dient mit seinen fünf bis sechs Metern Durchmesser dem Abtransport des Aushubs und spielt – auch in Zukunft – eine wichtige Rolle bei der Entwässerung.
Die Ost- und Weströhre, in der jeweils ein Zug eine Richtung befahren wird, sind mit ihren 8,1 Metern Innendurchmesser etwas breiter. Sie verlaufen 40 bis 70 Meter entfernt voneinander und sind alle 333 Meter durch einen sogenannten Querschlag miteinander verbunden. Diese dienen in Notfallsituationen als Fluchtweg: Über die jeweils nicht betroffene Hauptröhre kann dann ein Rettungszug Personen zu einer der drei Multifunktionsstationen (M3) befördern, die über seitliche Zufahrtstunnel verfügen und die einen sicheren Weg nach außen gewährleisten sollen.

Umweltgefährung

Der Bau stellt einen sicher enormen Eingriff in die Natur dar. Er hat aber auch das Potenzial, durch die Verlagerung von Gütern von der Straße auf die Schiene einen bedeutenden Beitrag zum Umweltschutz zu leisten. Um die Umweltverträglichkeit des Projekts so weit wie möglich zu gewährleisten, werden beim Tunnelbau verschiedene Maßnahmen ergriffen. Beispielsweise werden die Tunnelportale möglichst harmonisch in die Landschaft integriert und Deponien nahe der seitlichen Zufahrtstunnel angelegt. In der Nähe der Baustellen wurden neue Nist- und Futterplätze für Tiere errichtet. In besonders empfindlichen Bereichen überwacht eine ökologische Bauaufsicht die Auswirkungen der Bauarbeiten auf die Umwelt. Nach Fertigstellung des Tunnels sollen die vorübergehend genutzten Flächen rekultiviert werden.



M2 Brenner-Basistunnel im Querschnitt

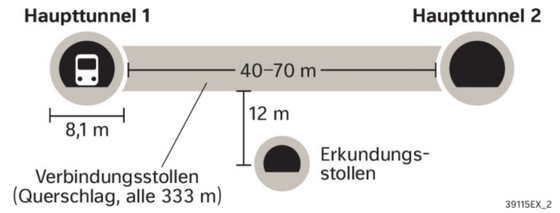
M3 Lage des Brenner-Basistunnels

Kritik am Bau des Tunnels

Das gesamte Projekt BBT ist nicht unumstritten. So befürchten beispielsweise Gemeinden im Großraum Rosenheim oder Innsbruck, dass durch den Bau von Zubringertrassen eine enorme Flächenversiegelung droht (M6). Einen direkten Nutzen haben Betroffene, die nahe der geplanten Streckenverläufe wohnen, auch nicht, da gerade Schnellzüge nur in wenigen größeren Städten Halt machen. Umweltschutzverbände plädieren des Weiteren für eine Verkehrsvermeidung generell, statt für eine Verlagerung auf die Schiene. Ständige Verzögerungen in Bezug auf die Fertigstellung des Tunnels und die hohen Kosten sind ebenfalls Gegenstand von andauernder Kritik.

Länge Innsbruck bis Franzensfeste: 55 km
Länge Tulfes bis Franzensfeste: 64 km
Maximale Gebirgsüberlagerung: 1720 m
Gefälle: 4 ‰ – 6,7 ‰
Geplante Geschwindigkeit Güterverkehr: 120 km/h
Geplante Geschwindigkeit Personenverkehr: 250 km/h
Höhe über NHN am Portal Innsbruck: 609 m
Höhe über NHN am Scheitelpunkt (Brenner): 794 m
Höhe über NHN am Portal Franzensfeste: 747 m
Länge des gesamten Tunnelsystems: 230 km
Ausbruchsmaterial: 21,5 Mio. m³
Prognostizierte Baukosten (Stand: 2021): 7,715 Mrd. Euro

M4 Eckdaten zum Brenner-Basistunnel



M5 Querschnitt des Röhrensystems

M6 Proteste gegen eine Zubringertrasse (2021)

M1 Konzert in Ischgl (2018)

Touristische Nutzung in Hochgebirgsräumen: Ischgl – mehr als ein Skigebiet

Im Zuge der COVID19-Pandemie im Jahr 2020 spielte Ischgl als ein sogenannter Corona-Hotspot eine zentrale Rolle bei der Verbreitung des Virus und erlangte weltweite mediale Aufmerksamkeit. Wie kam es dazu, dass eine österreichische Gemeinde mit 1600 Einwohnern einer der Ausgangspunkte einer pandemischen Virusverbreitung in ganz Europa wurde?

AUFGABEN

1. Erstellen Sie mithilfe des Internets eine Kartenskizze der Gemeinde Ischgl. Kennzeichnen Sie die touristische Infrastruktur unter Verwendung einer passenden Legende.
2. „Ischgl ist das Ibiza der Alpen." Erklären Sie diese Äußerung und zeigen Sie positive wie negative Aspekte auf (M1, M5, Text).
3. a) Erläutern Sie Ischgls Entwicklung als Touristendestination unter Zuhilfenahme des Wachstumszyklusmodells mit dazugehörigen Jahreszahlen (M2 – M4).
   b) Diskutieren Sie gemäß des Wachstumszyklusmodells mögliche Szenarien für die Ortschaft Ischgl und das angeschlossene Skigebiet.
4. Recherchieren Sie zu der Verbreitung des Corona-Virus im Zusammenhang mit Ischgl („Ischgl-Welle") und fassen Sie Ihre Informationen zusammen.
5. Erörtern Sie, ob die Begriffe „***Overtourism***" und „Massentourismus-Syndrom" (▸ S. 232/233) für Ischgl zutreffen.

Geschichte der touristischen Erschließung

Den Start für das Geschäft mit dem Tourismus in Ischgl markiert das Jahr 1880, in dem der österreichische und der deutsche Alpenverein begannen, Schutzhütten für Bergsportlerinnen und -sportler zu betreiben. Knapp 50 Jahre später eröffnete die erste Skischule. Auch wenn die Region stets als lawinengefährdet gilt, wurde 1961 die Silvrettaseilbahn-Aktiengesellschaft gegründet und eröffnete bereits zwei Jahre später die bis dahin längste Seilbahn Österreichs. Im Laufe der Zeit entwickelte sich aus dem einst beschaulichen Bergbauerndorf im Paznaun-Tal auf knapp 1400 Meter ü. NHN eine international bekannte Tourismusdestination. Neben diversen Wintersportveranstaltungen sind das Après Ski, also das Feiern nach dem Skifahren, und große Konzertveranstaltungen fester Bestandteil der Ischgler Unterhaltungsindustrie. Zu den Konzerten am Beginn und am Ende der Saison locken internationale Stars bis zu 25000 Besucherinnen und Besucher (M1).

Grenzüberschreitender Zusammenschluss

Die Silvretta Ski-Arena ist seit 1979 ein Verbund mit dem Schweizer Skigebiet Samnaun und verfügt über 45 Liftanlagen, verteilt auf 238 Pistenkilometer und zusätzlichen 68 Kilometern an Langlaufloipe. Sie gilt als eines der größten und schneesichersten Skigebiete der Alpen. Über drei Zugangslifte gelangen Wintersportlerinnen und -sporter in das Gebiet, in dem insgesamt 93000 Personen pro Stunde befördert werden können. Neben den Liftanlagen, die ständig erweitert und erneuert wurden, wurden auch stetig große Restaurantgebäude gebaut.

M2 Ischgl 1935

Wende zu mehr Nachhaltigkeit?

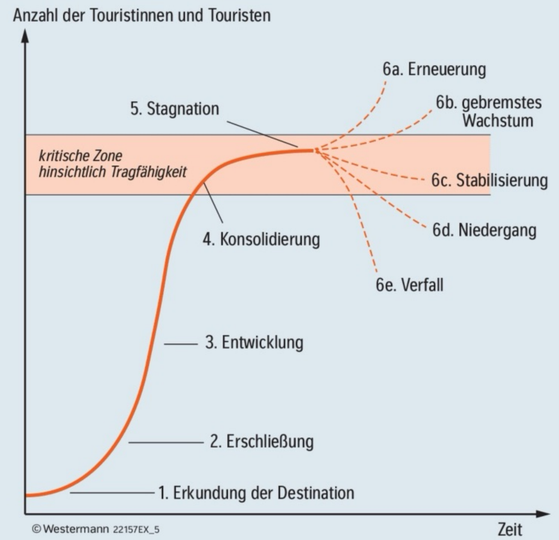
Heute sind die Betreiber nicht zuletzt auf Druck der einheimischen Bevölkerung darauf bedacht, Aspekte der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen und umzusetzen. So wird der für den Betrieb der Lifte benötigte Strom mittlerweile zu 80 Prozent aus erneuerbaren Energien gewonnen. Weitere Punkte, mit denen eine bessere Ökobilanz erreicht werden soll, sind die Aufforstung von Gebirgswäldern, die Abnahme regionaler Erzeugnisse in der Gastronomie, eine Mitfinanzierung des ÖPNVs der Gemeinde und ein weiterer Ausbau alternativer Energieträger.

M4 Ischgl 2022

- 12000 Betten, verteilt auf circa 390 Hotels (davon zahlreiche 4-Sterne-Hotels)
- 2,2 Millionen Übernachtungen
- Silvrettaseilbahn-Aktiengesellschaft: über 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter; Umsatz: ca. 70 Millionen Euro; Transport: 17 Millionen Fahrgäste pro Jahr
- Tageskarte für den Skiverbund: Erwachsene 67 €, Kinder 41 € (2022/2023)

M5 Ischgl in Zahlen (2021/2022)

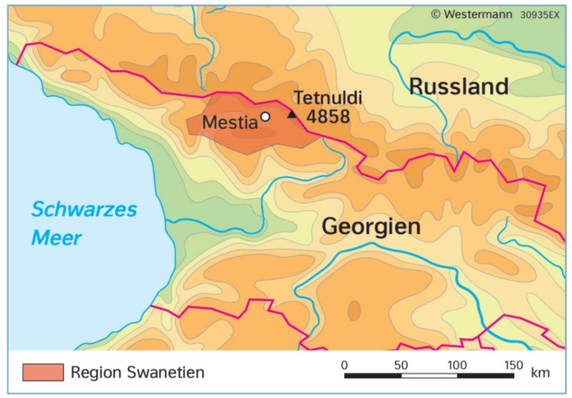
Das Wachstumszyklusmodell von Richard W. Butler aus dem Jahr 1980 beschreibt die Entwicklung einer Tourismusdestination. Zunächst erkunden einzelne Pioniertouristinnen und -touristen die Region aufgrund der Naturlandschaft oder bestimmter Attraktionen. Sie wohnen in einfachen Unterkünften, die behördlich noch nicht erfasst sind, nutzen touristische Dienstleistungen wie Führungen und kaufen zum Beispiel Handwerksprodukte als Souvenirs im Ort ein. Es bildet sich ein touristischer informeller Sektor (TIS) heraus.
In der zweiten Phase werden durch den Ausbau der Infrastruktur für die Touristinnen und Touristen die Rahmenbedingungen für die weitere Entwicklung verbessert.
Dadurch setzt in der dritten Phase ein Anstieg der Nachfrage ein und es kommt zu einer boomartigen Entwicklung der Touristenzahl, verbunden mit einer zunehmenden Belastung der Umwelt. Reiseveranstalter vermarkten die nun formellen Angebote (steuerlich erfasste Beherbergungsbetriebe), sodass die vorherigen TIS-Betriebe nun zum touristischen formellen Sektor (TFS) gehören.
Die Touristendestination etabliert sich in der vierten Phase auf dem Tourismusmarkt und die Zuwachsrate verringert sich.
In der fünften Phase sind durch Übernutzung der Destination keine Zuwächse mehr zu verzeichnen, die Region ist bekannt, aber nicht mehr „in". Die Konkurrenz der Betriebe untereinander verschärft sich.
Für die weitere Entwicklung gibt das Wachstumszyklusmodell unterschiedliche Szenarien an, von Erneuerung bis Verfall.



Quelle: Jebbink, K.: Butler konkret. Das Wachstumszyklenmodell von Tourismusregionen als lebendiges Diagramm. In: Praxis Geographie 10/2011, S. 10.

M3 Wachstumszyklusmodell nach Butler

M1 Mestia in der Region Swanetien (Georgien)



M2 Lage der Region Swanetien in Georgien

Skitourismus in Georgien

Der Skitourismus wächst weltweit und es werden ständig neue Märkte erschlossen. Während sich bereits stark entwickelte Skiregionen (▸S. 180/181) einer Stagnation nähern, befinden sich die Skigebiete Osteuropas und Zentralasiens in einer Wachstumsphase. Exemplarisch für diese Entwicklung ist das mit 3,7 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern vergleichsweise kleine Land Georgien.

Geübte Skifahrerinnen und -fahrer mit Hochgebirgserfahrung finden in der Region Swanetien (M2) ein großes Angebot an Tiefschneepisten, für die es – anders als in Mitteleuropa – auch keinerlei Naturschutzauflagen für Pflanzen und Bergwälder mit ihrer wichtigen Schutzfunktion gibt (▸S. 168/169). Dies ist jedoch in Kombination mit nicht vorhandenen Lawinenschutzmaßnahmen und fehlenden Lawinenwarnstufen ein nicht zu unterschätzendes Risiko für Freizeitsportlerinnen und -sportler. Ökologisch bedenklich ist hier auch der Trend zum sogenannten Heli-Skiing, bei dem sich eine finanzstarke Klientel mit einem Hubschrauber direkt auf den Gipfeln entlegener Berge absetzen lässt, um unberührte Tiefschneeabfahrten genießen zu können.

Swanetien zählt zu einer der am stärksten wachsenden Tourismusdestinationen weltweit. Ausgangspunkt aller Skiaktivitäten ist der Hauptort Mestia (M1). Die rund 2700 Einwohnerinnen und Einwohner sehen sich in der Hauptsaison mit einer Vielzahl an Gästen konfrontiert. Auch das gesamte Stadtbild befindet sich im Wandel. Zahlreiche Bauvorhaben zur Schaffung von touristischer Infrastruktur sind in Planung oder werden bereits umgesetzt. Dabei kommt es auch zu Enteignungen oder Verdrängung der einheimischen Bevölkerung, u. a. von Landwirten.

Der Staat hingegen fokussiert sich auf die steigenden Einnahmen durch den Tourismus und investierte zuletzt rund zehn Millionen US-Dollar in Werbung dafür. Und die Besucherzahlen in Georgien steigen (M5). Es sind Gäste aus der ganzen Welt, die Swanetien besuchen, die meisten davon kommen aus Europa. Sie schätzen die Landschaft, die Kulinarik, die Freizeitmöglichkeiten und einen hohen Grad an Gastfreundschaft bei relativ geringen Kosten. Zudem lockt das Land mit vereinfachter Visavergabe und einer relativ stabilen politischen Lage, die dem Land eine wirtschaftliche Annäherung an den Westen ermöglichte. Die Ernennung des 60 Kilometer von Mestia entfernten Dorfes Tschashaschi in der Dorfgemeinschaft Uschguli zum UNESCO-Weltkulturerbe brachte zusätzliches Prestige in die Region.

AUFGABEN

1. „Früher lebten hier in Mestia nur Bauern, aber heute betreibt keiner mehr Landwirtschaft, alle arbeiten im Tourismus." Skizzieren Sie Chancen wie Risiken dieser Aussage.
2. Vergleichen Sie die Skigebiete Silvretta Ski-Arena (▸S. 180/181) und Tetnuldi (Text, M3) unter selbst gewählten Gesichtspunkten.
3. a) Verorten Sie das Skigebiet Tetnuldi in dem Wachstumszyklusmodell (▸S. 181: M3).
   b) Diskutieren Sie Chancen und Risiken künftiger Entwicklungen (M4, ▸S. 235).
4. Analysieren Sie den Skitourismus in Georgien auf verschiedenen Maßstabsebenen (▸S. 211: M4) und ermitteln Sie die Auswirkungen (M1 – M5, Text).
5. Erstellen Sie einen Artikel für ein Onlinelexikon mit dem Titel „Skitourismus in Georgien" (M1 – M5, Text).

Das Skigebiet Tetnuldi wurde am 21.02.2016 vollständig neu eröffnet und liegt unterhalb des 4858 Meter hohen gleichnamigen Berg Tetnuldi. Es ist das größte Skigebiet Swanetiens, Skifahrern und Snowboardern stehen 13,4 Kilometer Pisten zur Verfügung; insgesamt fünf Lifte befördern die Gäste. Das Wintersportgebiet liegt auf einer Höhe von 2265 bis 3160 m ü. NHN. Die Liftanlagen entsprechen neuester Technik, jedoch ist die dazugehörige Infrastruktur noch nicht vorhanden oder erst im Aufbau. Während Unterkünfte, Restaurants, Bars und Einrichtungen zum Skiverleih mehr oder weniger ungeregelt aus dem Boden schießen, fehlt es an einer geregelten Abfall- und auch Abwasserentsorgung. Nach wie vor gelangt das Abwasser aus allen Häusern, auch aus großen Hotels, ungeklärt in den Hauptfluss Enguri. Für die Gäste sind vor allem die niedrigen Kosten vor Ort reizvoll. So kostet ein Tagesticket für die Liftanlagen für Erwachsene 18 €, für Kinder 9 €.

M3 Das Skigebiet Tetnuldi (2022)

M5 Entwicklung des Tourismus in Georgien (1995 – 2021)

Wie beurteilen Sie die Entwicklung des (Ski-)Tourismus in Georgien in den vergangenen Jahren?
Stefan Applis: Der Skitourismus in Georgien steigt in ganzen Zahlen stark an, wobei es während der COVID19-Pandemie zu einem Einbruch bei Besucherzahlen kam. Dieser Rückgang ist jedoch zum Stillstand gekommen und der Tourismus erholt sich seit 2022 wieder. Angesichts der negativen Effekte eines sich rasch entwickelnden Massentourismus auch in ökologisch vulnerablen Regionen, hat Georgien durch die im Vergleich eher stille Pandemiezeit in den Augen mancher Beobachter eine Art Erholung erfahren. So wurden stark negative massentouristische Effekte ausgebremst. Zu diesen rechnet man u. a. eine starke Überformung des architektonischen kulturellen Erbes, indem zum Beispiel traditionelle Gebäude in privater Hand ohne Rücksicht auf denkmalpflegerische Aspekte zu Touristenunterkünften umgebaut oder international verbreitete Bauweisen eingeführt wurden, wie z. B. der schweizerische Chalet-Stil. Im Bereich des Skitourismus zählt man dazu die Überformung der Kulturlandschaft, indem zum Beispiel Weide- und Waldflächen in ungeklärten Besitzverhältnissen verstaatlicht und in private Hand weiterverkauft wurden, um Hotels, Skipisten und Liftanlagen zu errichten. Das Potenzial für Skitourismus ist freilich hoch wegen der im Vergleich zu den europäischen Alpen deutlich höheren Schneesicherheit. Da die Anreise von verschiedenen Flughäfen in Deutschland, Polen oder Tschechien kurz ist, gewinnt Skifahren in Georgien für Tourengeher und Skifahrer, die das Erkunden weitgehend unberührter Pisten bevorzugen, zunehmend an Attraktivität.

Vor welchen Herausforderungen steht der (Ski-)Tourismus in Georgien aktuell?
Die zentrale Herausforderung besteht in der Gestaltung eines nachhaltigen Tourismus. In Folge der fortschreitenden rezenten Erderwärmung nimmt bereits jetzt die noch vor einigen Jahren dauerhafte Schneebedeckung in Bergregionen wie Swanetien ab. Zudem streben verschiedene georgische Regierungen den Bau von Wasserkraftwerken mit Unterstützung internationaler Geldgeber wie Südkorea und der Türkei im Gebirge an, was negative regional-klimatische Effekte mit sich bringt. Davon ist selbstverständlich auch der Sommertourismus betroffen. In der Entwicklung des Skitourismus sollte eher das Tourengehen unter Einbezug von ausgewiesenen Schutzgebieten im Vordergrund stehen und die Ausweitung von Schutzgebieten in den Bergen.

Welche zukünftige Entwicklung erwarten Sie für den (Ski-?)Tourismus in Georgien?
Leider erwarte ich, dass der politische Wille zur Gestaltung eines nachhaltigen Tourismus und damit eine Investition in regionale Infrastrukturen und Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsprinzipien fehlt. Im Rahmen der staatlichen Strategie, Georgien zu einem Vier-Jahreszeiten-Ziel des internationalen Tourismus zu machen, geht es, kurzgefasst, darum, kulturelle Güter wie Bauwerke, Musik oder auch Vorstellungen von Gastfreundschaft und ökologische Güter wie Landschaften, Tier- und Pflanzengemeinschaften wirtschaftlich nutzbar zu machen. Die lokale Bevölkerung wird deshalb angeregt, zu selbstständigen Unternehmern im Tourismussektor zu werden. Tourismus soll in abgelegenen Räumen wie Swanetien die traditionelle Landwirtschaft, die vorwiegend der Selbstversorgung dient, ergänzen oder ersetzen. Dies hat gravierende Folgen für das Leben in den betreffenden Regionen; ohne Tourismus freilich wird dort auf Dauer ebenfalls kein gutes Leben möglich sein. Ohne zentral und regional gesteuerte Entwicklungsstrategien muss eine nachhaltige Steuerung des Tourismus scheitern und es werden negative massentouristische Entwicklungen stattfinden.

M4 Experteninterview mit dem Kulturgeographen Prof. Dr. Stefan Applis (Universität Erlangen-Nürnberg), der sich seit Langem mit der Region Swanetien befasst

E↑ Nachhaltige Nutzungsformen und Schutzmöglichkeiten

Forschungserkenntnisse und Medienberichte über Gletscherschmelze, überbordenden Massentourismus und damit einhergehende Belastungen für das Ökosystem zeichnen ein deutliches Bild: Ein Weiter-so scheint bezüglich der anthropogenen Nutzung von Hochgebirgsräumen nicht möglich. Wie aber kann eine nachhaltige Nutzung der sensiblen Ökosysteme aussehen und welche Schutzmöglichkeiten gibt es?

M1 Sonnenschutzplanen auf den Ausläufern des Rhônegletschers (Schweiz) (2018)

AUFGABEN

Gruppenpuzzle

1. Erläutern Sie in Ihrer Expertengruppe eine der nachfolgenden Nutzungsformen bzw. Schutzmöglichkeiten (S. 184 – 187).
2. Analysieren und beurteilen Sie das Schutzpotenzial sowie die Nachhaltigkeit der Nutzungsform bzw. der Schutzmöglichkeit in Form eines geeigneten Lernprodukts. Stellen Sie ggf. weitere Recherchen an (▸S. 210/211, ▸S. 228).
3. Präsentieren Sie Ihre Ergebnisse in Ihren jeweiligen Stammgruppen (▸S. 238).

Rückschau und Ausblick

4. Rekapitulieren Sie Ihre Arbeitsergebnisse zu den Themen in diesem Kapitel. Erörtern Sie, weshalb die erarbeiteten Nutzungs- und Schutzmöglichkeiten notwendig erscheinen und welches Lösungspotenzial sie aufweisen.
5. Formulieren Sie für eine Fachkonferenz mindestens fünf Leitprinzipien einer angepassten Nutzung von Hochgebirgsräumen.

1. Gletscherschutz

Das durch den fortschreitenden rezenten Klimawandel bedingte Schmelzen der Gletscher und kürzere Zeiten mit geschlossenen Schneedecken in Gebirgsregionen schüren nicht nur in Skigebieten Existenzängste. Die Häufung schneearmer Winter in den letzten 20 Jahren hat hier zu einer zunehmenden Sensibilisierung bezüglich der Problematik geführt. Eine Erwärmung der Jahresdurchschnittstemperatur um 2 – 3 °C würde die meisten Wintersportorte empfindlich treffen.

Als ein Lösungsansatz werden mittlerweile viele Gletscher und Skipisten in den Sommermonaten mit einer weißen und knapp vier Millimeter dicken Folie aus Polyester und Polypropylen abgedeckt. Die Folie reflektiert aufgrund ihres hohen Albedowertes fast sämtliche einfallende Strahlung. Hierdurch lässt sich der Schmelzvorgang Schätzungen zufolge um rund 60 Prozent reduzieren. Das Verfahren ist allerdings sehr material- und kostenintensiv.

In den Schweizer Alpen etwa werden aktuell etwa 0,18 Quadratkilometer bzw. 0,02 Prozent aller Gletscherflächen mit Geotextilien abgedeckt. Vorerst bleiben der Schweiz dadurch jährlich bis zu 350 000 Kubikmeter Gletschereis erhalten. Für Forschende verschiedener Schweizer Institute und Universitäten ist daher klar, dass die Planen eine effiziente Methode sind, um lokal die Funktionsfähigkeit von Skipisten oder anderer touristischer Attraktionen am Gletscher zu erhalten. Die mit rund 50 000 Quadratmeter größte Schweizer Gletscherabdeckung befindet sich am Rhônegletscher (M1). Infolge des rezenten Klimawandels schmilzt immer mehr Eis in Skigebieten, was die ohnehin hohen Kosten ansteigen lässt. Dies zeigt auch, wie wirtschaftlich bedeutsam das Gletschereis ist. Während lokale Abdeckungen laut den Forschenden durchaus effizient und profitabel sein können, dürfte eine Anwendung im größeren Maßstab jedoch weder realisier- noch bezahlbar sein. Sie berechneten in einer Studie, dass es jährlich mehr als eine Milliarde Schweizer Franken kosten würde, alle Schweizer Gletscher abzudecken.

Selbst dann könnte der Rückgang nur verlangsamt und nicht gestoppt werden. Außerdem hätten die großflächigen Abdeckungen auch große Auswirkungen auf die Landschaft und Umwelt.

M2 Lage des Nationalparks Berchtesgaden rund um den Königssee

M3 Gipfel des Watzmann im Nationalpark Berchtesgaden

2. Schutzgebiet Nationalpark Berchtesgaden

In vielen alpinen Regionen werden die Folgen der menschlichen Eingriffe zunehmend sichtbar. Die Einrichtung von Schutzgebieten ist ein Weg, um die Schönheit sowie die wichtigen Funktionen der Landschaft in den Alpen zu bewahren. Nationalparks stellen eine Variante solcher Schutzgebiete dar. Die Naturlandschaft soll hier in ihrem ursprünglichen Zustand und unbeeinflusst von menschlicher Nutzung erhalten werden.

Der 1978 gegründete Nationalpark Berchtesgaden zählt zu den ältesten Schutzgebieten und ist Deutschlands einziger Hochgebirgsnationalpark. Die Hochgebirgslandschaft umgibt den Königssee, der im Herzen des Nationalparks liegt. Aufgrund des Höhenunterschiedes von etwa 2000 Metern zwischen Tallagen und Gipfeln bietet sich ein besonders vielfältiges alpines Ökosystem. Verschiedenste Tier- und Pflanzenarten sind hier heimisch und werden vor menschlichen Eingriffen geschützt. Charakteristische Tierarten der Berchtesgadener Alpen sind beispielsweise Alpensalamander, Steinadler, Reh, Rot- und Gamswild sowie Schneehasen und -hühner. Andere, ursprünglich in der Region heimische Tierarten, die als Bedrohung und Nahrungskonkurrenz für den Menschen empfunden wurden, sind seit dem 19. Jahrhundert ausgerottet. Hierzu zählen Bär, Wolf, Luchs oder Bartgeier.

Der große Höhenunterschied innerhalb des Nationalparks bewirkt eine klimatische Differenzierung der Pflanzenwelt in Höhenstufen. Bis etwa 700 m über NHN wachsen in den Tiefenlagen natürliche Buchenmischwälder, jedoch auch Fichtenforste, die durch menschliche Anpflanzung entstanden sind und teilweise die Mischwälder ersetzt haben. Bergmischwälder mit einem mit zunehmender Höhe steigenden Fichtenanteil dominieren die montane Vegetationsstufe. Die alpine Stufe wird von Matten und Zwergstrauchheiden geprägt. Der Watzmann (2713 m, M3, ▸S. 154) ist der höchste Gipfel des Nationalparks. Folglich wird die nivale Stufe (permanente Eis- und Schneebedeckung) ab 2800 m ü. NHN nicht erreicht.

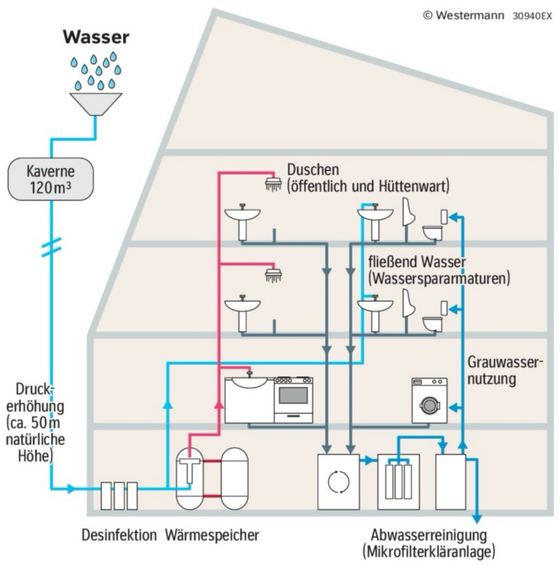
Der Nationalpark ist durch ein Besuchersystem mit Wanderwegen, Informationszentren und Umweltbildungsangeboten erschlossen. Besonders stark ist dabei der Sommertourismus ausgebildet. Der Tourismus ist die dominierende Einkommensquelle in der Region. Um jedoch eine Überlastung sowie eine Störung der Tier- und Pflanzenwelt zu vermeiden, ist der Individualverkehr in der Kernzone (75 % der Fläche) des Nationalparks nicht möglich.

Trotz der strikten Vorschriften sind traditionelle Nutzungsformen in der restlichen Pflegezone weiterhin möglich, etwa die Almwirtschaft oder die Schifffahrt und Fischerei am Königssee. Häufig kollidieren im Gebiet eines Nationalparks ökonomische und ökologische Interessen und Nutzungskonflikte treten zutage. So ist etwa die Errichtung neuer Straßen oder Industrieanlagen nicht oder nur sehr schwer möglich. Die Ausrichtung des Tourismus erfolgt vor allem nach ökologischen beziehungsweise sozialen und nicht primär nach ökonomischen Gesichtspunkten. Interessenkonflikte zwischen verschiedenen Akteursgruppen müssen unter Berücksichtigung des Nationalparks permanent ausgehandelt werden und bei der Ausweisung eines Schutzgebietes bedacht werden.

M4 Monte-Rosa-Hütte über dem Gornergletscher (Zermatt, Schweiz)

3. Energieautarke Monte-Rosa-Hütte (Schweiz)

Die Monte-Rosa-Hütte (2883 m ü. NHN) am Fuße des Monte-Rosa-Massivs ist ein beliebtes Ziel für Alpinistinnen und Alpinisten. Sie bietet 120 Schlafplätze und zählt zu den meistbesuchten Hütten im Schweizer Alpenraum.
Mit dem Gebäude, das mit seiner Form und der silbernen Aluminiumhülle an einen Bergkristall erinnert, wurden bezüglich Haustechnik und Energiemanagement neue Wege beschritten. Im Rahmen eines Projektes wurden diese durch die ETH Zürich (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) entwickelt. Das silberne Aluminium der Fassade nimmt Landschaft und Licht der hochalpinen Zone auf, da es ihre Umwelt reflektiert. Nicht nur aufgrund der auffallenden Optik erfährt die Hütte seit der Neugestaltung im Jahr 2009 einen großen Besucherandrang.
Energetisch gesehen ist das Bauwerk in großen Teilen autark. Eine Photovoltaikanlage, die in der Südfassade integriert ist, sowie thermische Solarkollektoren liefern über 90 Prozent der benötigten Energie. In den Frühlings- und Sommermonaten anfallendes Schmelzwasser wird in einer Felskaverne gesammelt und gespeichert. Die Reinigung des Abwassers erfolgt durch eine Mikrofilteranlage auf bakterielle und somit natürliche Weise. Das Grauwasser (Abwasser aus Bädern, Duschen und Waschmaschinen) wird für die Toilettenspülung verwendet. In die Belüftungsanlage ist ein Wärmerückgewinnungsmechanismus integriert. Für Schlechtwetterperioden, in denen die Solarkollektoren nicht ausreichend Energie liefern können, steht ein Blockheizkraftwerk zur Verfügung, das mit Rapsöl und Diesel betrieben wird. Die einzelnen Komponenten der Haustechnik werden durch eine Software koordiniert, sodass ein Großteil der benötigten Energie für die Hütte regenerativ erzeugt werden kann.
Trotz aller technischen Innovationen wurde das Autarkieziel von 90 Prozent in den ersten Betriebsjahren nicht erreicht. Als zu groß erwies sich der Besucheransturm, der wohl auch durch das enorme mediale Echo im In- und Ausland hervorgerufen wurde. Anstatt der prognostizierten 6000 bis 7000 Übernachtungen pro Jahr erreichten die Besucherzahlen zu Beginn Werte um die 11000.
Auch zukünftig dient die Hütte der ETH Zürich als Forschungsobjekt in den Bereichen Energie und Gebäudetechnik, um durch vergleichbare Objekte den alpinen Tourismus nachhaltiger gestalten zu können.



M5 Strukturskizze der Hütte mit den Möglichkeiten der regenerativen Energiegewinnung und -nutzung

M6 Speicherkraftwerk Walchensee in Deutschland

M7 Sonnenkraftwerk Kaiserau in Österreich

4. Energiegewinnung im Hochgebirge

Hochgebirge wie die Alpen bieten gute Voraussetzungen, um Wasserkraft sowie Sonnen- und Windenergie für die Stromgewinnung zu nutzen, da die Wasserverfügbarkeit, die Reliefenergie, die sonnenexponierte Lage der Hänge sowie die Berg- und Talwinde günstige Bedingungen bieten.
Das Potenzial erneuerbarer Energieträger wird in den verschiedenen Regionen der Alpen bislang unterschiedlich stark genutzt. Eine Herausforderung stellt die Errichtung der entsprechenden Infrastruktur dar, da das alpine Relief sowie das Hochgebirgsklima den Zugang zu potenziellen Nutzungsflächen und damit einen wirtschaftlichen Betrieb erschweren. Zusätzlich kommt es zu vielfältigen Nutzungs- und Interessenkonflikten zwischen verschiedenen Akteursgruppen, die häufig zu einer kritischen Haltung gegenüber Energieprojekten führen. Landwirtinnen und Landwirte rechnen mit einem Verlust von Bewirtschaftungsflächen, Tourismusregionen befürchten einen Besucherrückgang aufgrund der „Verspargelung" des Landschaftsbildes durch Windräder. Auch ökologische Bedenken werden geäußert.

Nutzung der Wasserkraft in den Alpen

Im Speicherkraftwerk Walchensee in Deutschland wird der Höhenunterschied zwischen dem Speichersee auf einem Berg (Walchensee) und dem Kraftwerk am tiefer gelegenen Kochelsee genutzt. Durch sechs 400 Meter langen Druckrohrleitungen stürzt das Wasser vom Walchensee zu den Turbinen im rund 200 Meter tiefer gelegenen Maschinenhaus (M6). Hier treibt es die Turbinen an, über die ein Generator Strom erzeugt.
Für den Speichersee werden enorme Wassermengen aus der oberen Isar abgeleitet und gestaut. Hierdurch verliert der ursprüngliche Wildfluss viel Wasser und verlandet immer mehr. Auch die Lebensräume der Tier- und Pflanzenwelt sind bedroht. Das fast hundert Jahre alte Kraftwerk zieht allerdings auch viele Touristinnen und Touristen an.

Windpark auf dem Gotthardpass

Unterschiedliche Temperaturen auf beiden Seiten des Gotthardpasses (Schweiz) erzeugen starke Luftströme, die über den Pass wehen. Zusätzlich treten im Tagesrhythmus Fallwinde auf, die Windkraftanlagen antreiben können.
Der Standort dieser Anlagen liegt auf über 2100 m Höhe, weshalb die Rotorblätter beheizt werden, um Vereisungen zu verhindern. Eine Infrarotbeleuchtung macht die Windräder für Flugzeuge auch in der Nacht sichtbar. Um zu verhindern, dass Zugvögel und Fledermäuse durch die drehenden Rotorblätter verletzt werden, sind diese mit speziellen Radargeräten ausgestattet, mit denen die Tiere erkannt und die Rotorblätter automatisch gestoppt werden. Die Infrastruktur (Straßen für Wartung und Reparatur, Stromnetz) war auf dem Gotthardpass bereits vorhanden.

Sonnenkraftwerk Kaiserau in Österreich

Sonnenhänge im Hochgebirge verdanken ihren Namen dem Umstand, dass sie die meiste Zeit des Tages in der Sonne liegen. Die Hanglage sorgt zusätzlich dafür, dass die eingestrahlte Sonnenenergie höher ist als auf einer ebenen Fläche, da die Strahlen fast senkrecht auftreffen.
Das Sonnenkraftwerk Kaiserau ist das erste in den Alpen mit breiter Bürgerbeteiligung. Durch umfassende Informationsveranstaltungen konnten viele Sorgen um negative Auswirkungen des Kraftwerks im Vorfeld ausgeräumt werden. Zusätzlich können sich die Menschen finanziell am Projekt beteiligen und erhalten im Gegenzug jährlich einen Anteil am Gewinn. So können sie Geld anlegen und gleichzeitig einen Beitrag zum Berg- und Umweltschutz leisten.

Hochgebirgsräume

AUFGABEN

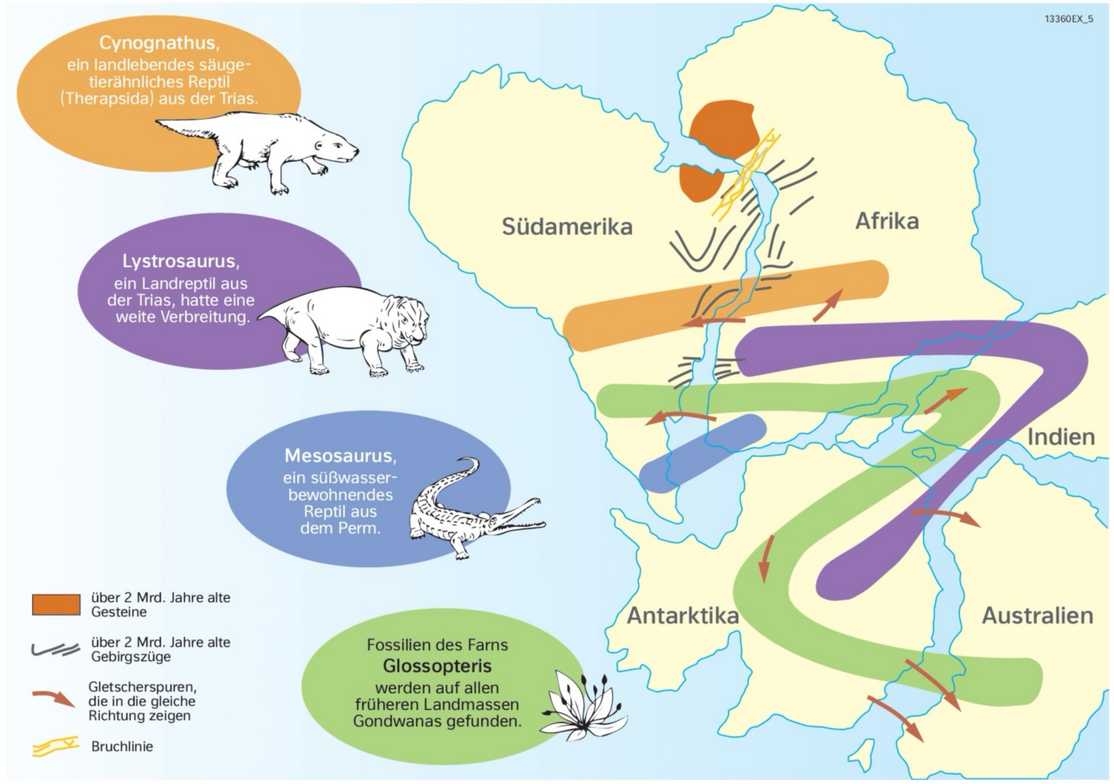
Arbeitszeit: 60 Minuten

1 a) Erläutern Sie die Indizien, die Alfred Wegener zu seiner Theorie der Kontinentalverschiebung veranlassten. Beziehen Sie auch die Karte (M1) in Ihre Ausführungen ein.
b) „Das Himalaya-Gebirge wächst um bis zu einen Zentimeter pro Jahr in die Höhe". Begründen Sie dieses Phänomen, indem Sie auf den Prozess der Gebirgsbildung des Himalayas eingehen.

2 a) Erklären Sie zunächst die Notwendigkeit und Funktionsweise der im Bild M2 dargestellten Schutzmaßnahme für das Gletschereis in Hochgebirgen.
b) Beurteilen Sie die Nachhaltigkeit der Schutzmaßnahme unter Bezugnahme auf das Nachhaltigkeitsviereck.

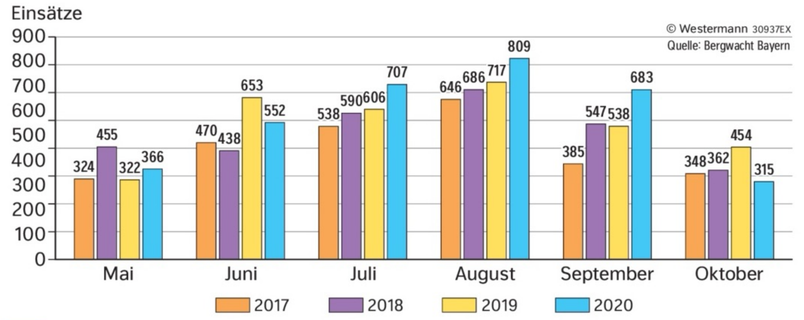
3 a) Nennen Sie ausgehend von Text M5 vom Menschen verursachte Gründe für die Entwicklung alpiner Rettungseinsätze in Bayern (M3, M5).
b) Erklären Sie mögliche Naturrisiken, die im alpinen Raum auftreten können.

4 a) Beschreiben Sie ausgehend von der Abbildung M4 und M6 die Entwicklung, die die Ortschaft Sölden in den Tiroler Alpen durchlaufen hat.
b) Diskutieren Sie zwei mögliche Konfliktlinien, die sich aus der Entwicklung ergeben haben könnten.



M1 Indizien für Alfred Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebung

M2 Schutzplanen an einem Gletscher



M3 Bergwacht Bayern – Einsätze je Monat

„[…] Die Zahl der [alpinen] Rettungseinsätze in Bayern steigt kontinuierlich. Auch deshalb, weil die Zahl der Menschen zunimmt, die in den Bergen Erholung sucht. Immer mehr [Touristinnen und] Touristen entdecken die Berge für sich. Die Routenplanungen werden digitaler, Bergerlebnisse werden medial gut vermarktet. Früher ging man mit Familienmitgliedern in die Berge und wurde langsam mit den Gefahren vertraut gemacht. Heute entdecken viele Menschen, die nicht hier leben, die alpine Bergwelt für sich […]. Meine Botschaft: Habt den Mut, aufzugeben, wenn ihr merkt, dass es riskant wird." Alpinrechtsexperte Klaus Burger

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M5 Zeitungsmeldung vom 06.11.2022

M4 Sölden 1910

M6 Sölden 2016

Ausbruch des Vulkans Cumbre Vieja auf der Kanareninsel La Palma im Herbst 2021

Antananarivo (Madagaskar) nach dem Durchzug des Zyklons Batsirai Anfang Februar 2022

6

Natur-katastrophen

Gefährdungspotenzial und Risikomanagement

In diesem Kapitel erfahren Sie, ...

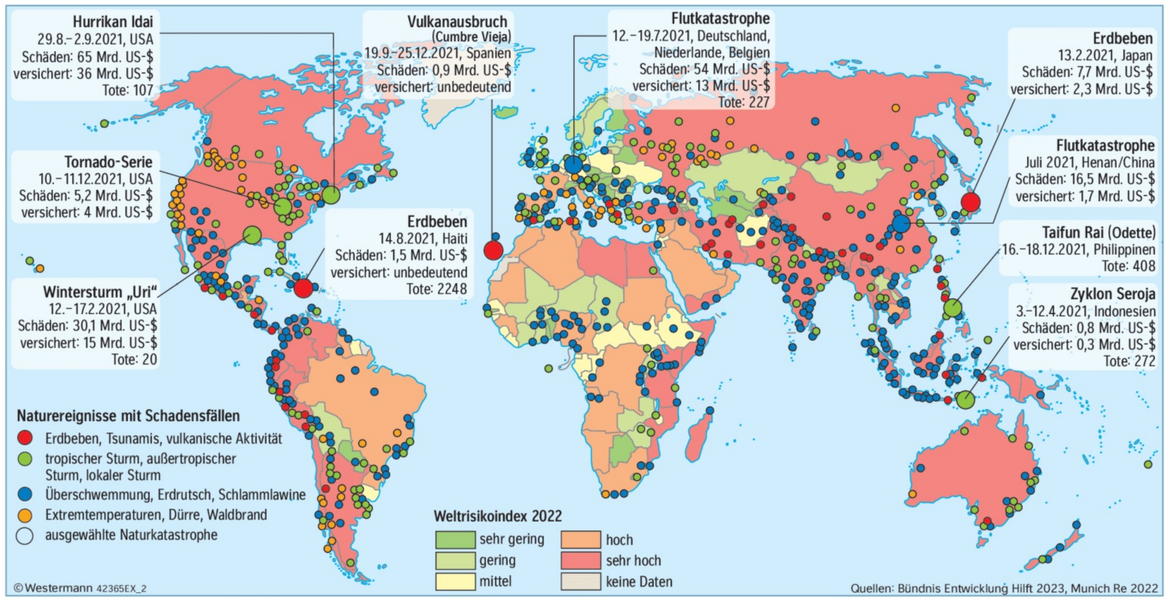
... welches Risiko von Naturereignissen ausgeht und welches Gefährdungspotenzial sich daraus für verschiedene Räume und das Mensch-Umwelt-System ableiten lässt (▸S. 192 – 193).

... welcher Zusammenhang zwischen Plattentektonik und endogenen Naturkatastrophen besteht (▸S. 192 – 201).

... welche Möglichkeiten und Grenzen von Risikoforschung und Risikomanagement für tektonisch bedingte Naturgefahren existieren:
Erdbeben (▸S. 192 – 197),
Tsunamis (▸S. 198 – 199),
Vulkanausbrüche (▸S. 200 – 203).

... wie tropische Wirbelstürme als klimatisch bedingtes Naturrisiko entstehen, wie ihre Zugbahn mithilfe von Fernerkundungsdaten vorhergesagt und ihr Schadenspotenzial beurteilt werden kann (▸S. 204 – 207).

Menschen sind weltweit durch Naturgefahren bedroht. Teilweise ist die Gefahr jedoch menschengemacht. Tektonisch bedingten Naturereignissen liefern wir uns zum Beispiel durch Besiedelung an Plattengrenzen aus, meteorologische Naturgefahren werden durch den rezenten Klimawandel gefördert. Um das Risiko und die Schäden für Mensch, Umwelt und Sachwerte möglichst gering zu halten, sind Risikoforschung sowie ein umfassendes Katastrophenmanagement notwendig.



M1 **Weltrisikoindex 2022, Naturereignisse und ausgewählte Schadensfälle von Naturkatastrophen 2021**

AUFGABEN

1. Vergleichen Sie die beiden Bilder (▸S. 190/191). Diskutieren Sie, welche Gefahren von den Naturereignissen ausgehen und welchen Schutz es gibt.
2. Grenzen Sie die im Text genannten, fettgedruckten Fachbegriffe explizit voneinander ab.
3. Das Risiko von Naturkatastrophen und ihre Folgen sind regional sehr unterschiedlich (M1, M2).
   a) Ermitteln Sie die durch Naturereignisse besonders bedrohten Regionen der Erde und begründen Sie deren hohes Gefährdungspotenzial (Atlas).
   b) Vergleichen Sie ausgewählte Schadensfälle und ziehen Sie Rückschlüsse auf die Folgen für die lokale Bevölkerung.
4. Erläutern Sie die weltweite Entwicklung von Naturkatastrophen (M3, M4). Diskutieren Sie, ob sich der Trend fortsetzen wird.
5. a) Bewerten Sie die Rolle der Risikoforschung für das Katastrophenmanagement (M5, Text).
   b) Stellen Sie begründet dar, welche Chancen bzw. Herausforderungen mit dem Katastrophenmanagement grundsätzlich einhergehen.
6. Recherchieren Sie zu einer der in M1 dargestellten Katastrophen (Ursachen, Schadensausmaß, Maßnahmen des Katastrophenmanagements).

Naturkatastrophen im Fokus der Risikoforschung

*Je nach Region sind die Menschen weltweit von **Naturereignissen** betroffen, die aufgrund unterschiedlicher Häufigkeit, Dauer und Intensität eine unterschiedlich große Gefährdung für Bevölkerung, Umwelt und Sachwerte darstellen (**Naturgefahr**, M1).*

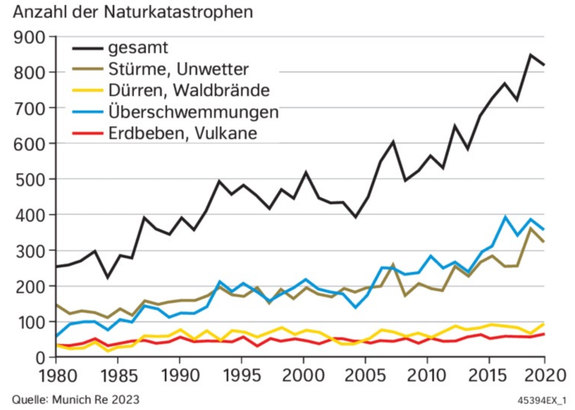
Um das Risiko und die Verwundbarkeit (**Vulnerabilität**) durch **Naturkatastrophen** zu mindern, weisen viele Länder bzw. Regionen ein umfangreiches Katastrophen- und Vorsorgemanagement mit vielfältigen Maßnahmen auf (M2, M5). Dazu zählen u. a. die Installation von Frühwarnsystemen (auch unter Zuhilfenahme von künstlicher Intelligenz, kurz: KI) sowie beispielsweise die Ausweisung von Überflutungsflächen und Anlage von Dämmen zum Schutz vor Hochwasser. Im Rahmen des Katastrophenmanagements wird auch auf die geographische **Risikoforschung** zurückgegriffen, die sich mit Risikoaspekten in der Wechselbeziehung zwischen Natur und Gesellschaft befasst. Sie zielt darauf ab, Gefahren durch eine Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenshöhen berechenbar zu machen. Trotz ihres **Gefährdungspotenzials** sind viele dieser Regionen dicht besiedelt, wie zum Beispiel der von Vulkanismus betroffene Großraum Neapel (▸S. 202/203). Für die Bevölkerung überwiegen hier die Vorteile, die der Gunstraum mit sich bringt.

1. Gefährdung Exposition gegenüber Naturgefahren	**2. Anfälligkeit** Wahrscheinlichkeit, im Ereignisfall Schaden zu erleiden	**3. Bewältigungskapazitäten** Kapazitäten zur Verringerung negativer Auswirkungen im Ereignisfall	**4. Anpassungskapazitäten** Kapazitäten für langfristige Strategien zum Wandel in einer Gesellschaft
Bevölkerung exponiert in Bezug auf z. B. • Erdbeben • Stürme • Überschwemmungen • Dürren • Meeresspiegelanstieg • Vulkane • Tsunami • Massenbewegungen • Extremniederschlag	**öffentliche Infrastruktur** • Bevölkerungsanteil ohne Zugang zu sanitärer Grundversorgung • Bevölkerungsanteil ohne Zugang zu sauberem Wasser **Wohnsituation** • Anteil der Bevölkerung in Slumgebieten • Anteil der semisoliden und fragilen Häuser **Ernährung** • Anteil der unterernährten Bevölkerung **Armut und Versorgungsabhängigkeit** • Anteil der unter 15- und über 65-Jährigen an der erwerbstätigen Bevölkerung • Anteil der Bevölkerung, die von weniger als 1,90 US-$ pro Tag lebt **Wirtschaftskraft und Einkommensverteilung** • Bruttoregionalprodukt pro Kopf • Einkommensverteilung	**Regierung und Behörden** • Korruption • Verwundbarkeit und Risiko für Staatszerfall **Katastrophenvorsorge und Frühwarnung** • nationale Katastrophenvorsorge **medizinische Versorgung** • Anzahl der Ärzte pro 1000 Einwohner • Anzahl der Krankenhausbetten pro 1000 Einwohner **soziale Netze** • Nachbarschaft, Familie und Selbsthilfe **materielle Absicherung** • Versicherungsschutz	**Bildung und Forschung** • Alphabetisierungsrate • Bildungsbeteiligung **gleichberechtigte Beteiligung** • Geschlechtergleichberechtigung **Umweltstatus / Ökosystemschutz** • Wasserressourcen • Schutz von Biodiversität und Habitaten • Waldmanagement • Landwirtschaftsmanagement **Anpassungsstrategien** • Projekte und Strategien zur Anpassung an Naturgefahren und Klimawandel **Investitionen** • öffentliche Gesundheitsausgaben • Lebenserwartung • private Gesundheitsausgaben

wichtige Bestandteile des Index, werden aber bei der Berechnung aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit (noch) nicht berücksichtigt

Quelle: Weltrisikobericht 2020 ©Westermann 1376HX_3

M2 **Komponenten des Weltrisikoindex**

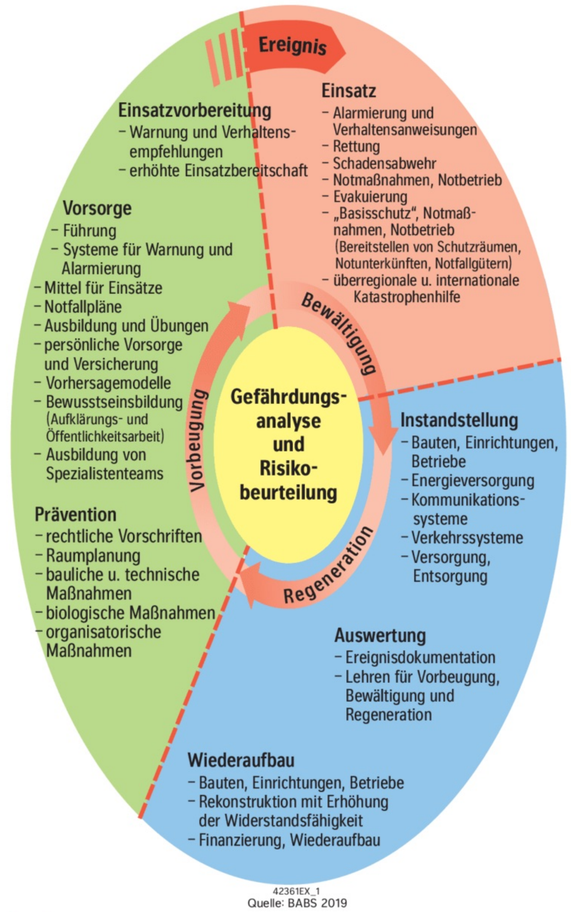


M3 **Entwicklung der Zahl relevanter Schadensereignisse**

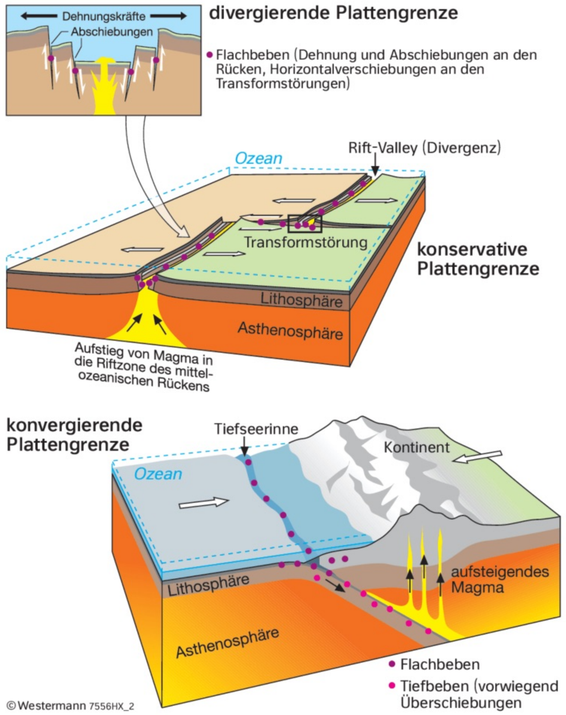
Seit Jahrzehnten hat die Häufigkeit großer Naturkatastrophen zugenommen. Die volkswirtschaftlichen Schäden sind dabei stark, die versicherten Schäden sogar sehr stark angewachsen. Gründe:

- globale Bevölkerungszunahme,
- steigender Lebensstandard und dadurch wachsende Wertbestände,
- zunehmende Konzentration von Bevölkerung und Werten in den Metropolregionen und Megastädten,
- Besiedlung und Industrialisierung stark exponierter Regionen (z. B. Küstenbereiche),
- Verwundbarkeit moderner Gesellschaften und Technologien,
- anthropogene Umweltveränderungen (z. B. rezenter Klimawandel, Wasserverknappung).

M4 **Ursachen für die Zunahme von volkswirtschaftlichen und versicherten Schäden durch Naturkatastrophen**



M5 **Kreislauf des integralen Katastrophenmanagements**



M1 **Entstehung von Erdbeben (vgl. ▸ S. 159)**

AUFGABEN

1 a) Beschreiben Sie die Situation in Bild M2 und begründen Sie, warum es gerade in der Grenzregion Türkei/Syrien zu Erdbeben kam.
b) Ermitteln Sie weitere erdbebengefährdete Regionen (Atlas).

2 a) Erläutern Sie die Entstehung und Ausbreitung von Erdbeben (M1, M3, M4, Text).
b) Recherchieren Sie zu Erdbebenskalen und vergleichen Sie diese (▸ S. 228).
c) Nehmen Sie Stellung zur Wahrscheinlichkeit von Erdbeben wie in der Türkei und Syrien 2023 (M6).
d) Bewerten Sie die unterschiedlichen Gefahren, die mit einem Erdbeben einhergehen (M5).

3 Stellen Sie in einer Conceptmap die folgenden Inhalte zum Thema Erdbeben dar: Ursache bzw. Entstehung, Verortung, Messung bzw. Stärke, Schäden, Katastrophenmanagement, aktuelle Ereignisse (Internet, Tagespresse, ▸ S. 225).

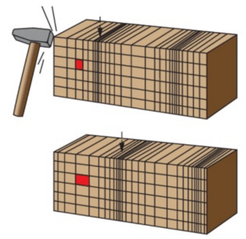
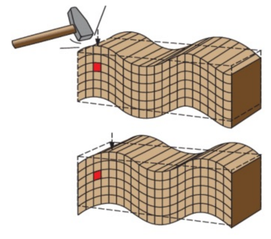
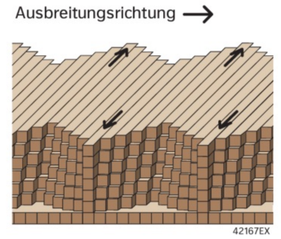
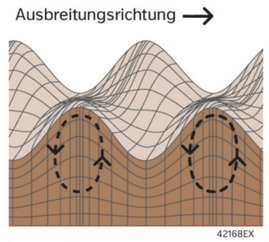
4 Beurteilen Sie die Gefahr von Erdbebenereignissen in Deutschland (Atlas, Internet, ▸ S. 228).

M2 **Adiyaman (Türkei) nach dem Erdbeben vom 06.02.2023**

Naturgefahr Erdbeben

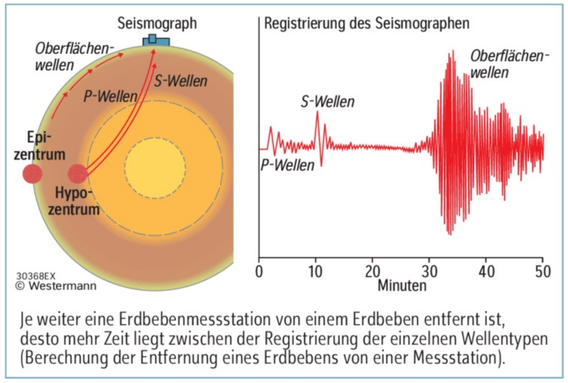
Im Südosten der Türkei und in Nordsyrien ereigneten sich am 06.02.2023 schwere Erdbeben mit Magnituden bis zu 7,8. Über 50000 Menschen kamen dabei ums Leben. Die Beben zählen zu den schlimmsten Naturkatastrophen der letzten 100 Jahre. In Deutschland hingegen sind fühlbare oder gar schadenverursachende Erdbeben eher eine Seltenheit, selbst in den besonders betroffenen Regionen am Rhein, auf der Schwäbischen Alb, in Ostthüringen, in Westsachsen und im Vogtland. Wie kommt es zu diesen Unterschieden hinsichtlich Stärke und Häufigkeit?

90 Prozent aller **Erdbeben** sind tektonischen Ursprungs. Weitere Ursachen sind Vulkanausbrüche, Einsturz unterirdischer Hohlräume, Sackungen von Sedimenten oder bergbauliche Aktivitäten, z. B. Sprengungen. Sie entstehen, wenn sich in festem Gestein aufgestaute Spannungen plötzlich lösen. Die betroffenen Erdschollen versetzen sich dann ruckartig an einer Verwerfungsfläche gegeneinander. Dies ist vor allem an konvergierenden oder an konservativen Plattengrenzen (Transformstörungen), hingegen seltener an divergierenden Plattengrenzen der Fall (M1, ▸ S. 158/159). Die dabei freigesetzte Energie (M6) führt zu Gesteinserschütterungen, welche sich innerhalb des Erdkörpers als Erdbebenwellen vom **Hypozentrum**, dem Bebenherd, aus in alle drei Raumrichtungen ausbreiten. An der Erdoberfläche (**Epizentrum**) verteilt sich die Energie nur noch auf zwei Dimensionen. Daher sind diese Oberflächenwellen die eigentlich zerstörerischen Kräfte (M3). Seismische Wellen werden an der Grenzfläche unterschiedlich dichter Gesteine gebrochen oder reflektiert, breiten sich abhängig von der Dichte des Gesteins mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus und können, mit sich abschwächender Amplitude, noch in großer Entfernung vom Hypozentrum von Seismographen aufgezeichnet und ausgewertet werden. Damit ist die Seismologie entscheidend für die Aufklärung des inneren Baus der Erde und seiner Dynamik.

Raumwellen		Oberflächenwellen	
Wellen, die ausgehend vom Hypozentrum die Erde durchqueren. Sie können sich in alle Richtungen ausbreiten.		Ehemalige Raumwellen, die auf die Oberfläche treffen und dann an ihr entlanglaufen. Sie sind an die Erdoberfläche gebunden.	
Primärwellen	**Sekundärwellen**	**Love-Welle**	**Rayleigh-Welle**
			
Ähnlich wie Schallwellen in der Luft breiten sich die P-Wellen im Gestein und in Flüssigkeiten aus, indem Teilchen geschoben und gezogen werden. physikalische Bezeichnung: Längswelle	Ähnlich wie ein schwingendes Seil breiten sich S-Wellen im Gestein aus, indem Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung verschoben werden. Flüssigkeiten können sie nicht durchdringen. physikalische Bezeichnung: Querwelle	Ähnlich der Bewegung einer Schlange breiten sich Love-Wellen an der Oberfläche aus, indem Teilchen horizontal zur Ausbreitungsrichtung verschoben werden. Sie richten durch ihre starken horizontalen Ausschläge häufig Schäden an Gebäuden an.	Ähnlich einer Meereswelle, bei der die Teilchen eine elliptische Bewegung ausführen, breiten sich die Rayleigh-Wellen an der Oberfläche aus. Bei Erdbeben werden hauptsächlich die Rayleigh-Wellen wahrgenommen.
42167EX		42168EX	

hoch → Ausbreitungsgeschwindigkeit → gering

M3 **Seismische Wellen und ihre Ausbreitung**



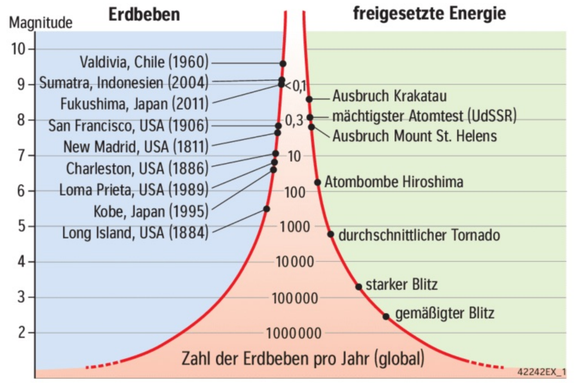
Je weiter eine Erdbebenmessstation von einem Erdbeben entfernt ist, desto mehr Zeit liegt zwischen der Registrierung der einzelnen Wellentypen (Berechnung der Entfernung eines Erdbebens von einer Messstation).

M4 **Verlauf von P-, S- und Oberflächenwellen**

„[…] Die primäre Gefahr bei einem Beben besteht in den Auswirkungen der Bodenbewegungen. Neben der direkten Beschädigung der Gebäude durch die Erschütterungen selbst kann der Baugrund, auf dem die Gebäude stehen, in Mitleidenschaft gezogen werden. […]. Als Folge der Bodenerschütterungen können auch Erdrutsche und Schlammlawinen ausgelöst werden. […] Die zweite Gefahr ist die bleibende Bodenverschiebung bei sehr starken Beben. Gebäude, die in unmittelbarer Nähe von Verwerfungen stehen, können hierdurch starke Schäden erleiden.
Die dritte Gefahr besteht in Flutwellen. Erdbeben können Staudämme zerstören oder Deiche beschädigen […].
Die vierte Gefahrenquelle liegt in Bränden. Beben können Ver- und Entsorgungslinien zerstören. […] Brände werden dann verstärkt zu einem Problem, wenn aufgrund geborstener Wasserleitungen kein Löschwasser zur Verfügung steht. […]
Die eigentliche Gefahr für Menschen ist es, von Gebäudeteilen erschlagen zu werden, in Flutwellen vor zerbrochenen Staudämmen zu ertrinken, unter Erdrutschen verschüttet zu werden [oder von begleitenden Bränden eingeschlossen zu werden].“

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M5 **Gefährdung durch Erdbeben**



M6 **Energiefreisetzung von Erdbeben im Vergleich**

M1 Japans Naturgefahren (2022)

M2 Tokio – Fuji-Vulkan und Tokio Skytree

Tokio – Leben mit der Erdbebengefahr

Das „Tokyo Bousai" sowie das „Disaster Preparedness Tokyo" sind von der Stadtregierung von Tokio veröffentlichte Handbücher zur „Katastrophenvorsorge Tokio". Sie sollen den Bewohnerinnen und Bewohnern helfen, sich umfassend auf verschiedene potenzielle Katastrophen, einschließlich Erdbeben, vorzubereiten.

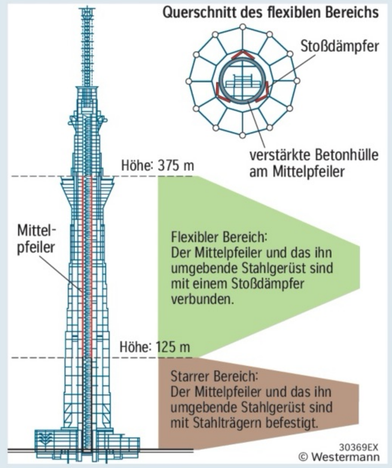
Japan zählt zu den Gebieten, die am stärksten durch Erdbeben gefährdet sind. Allein zehn Prozent der weltweiten tektonischen Energie werden in und um Japan freigesetzt. Katastrophenvorsorge hat in Japan daher seit Jahrzehnten oberste Priorität. Besonders die Hauptstadt Tokio ist aufgrund ihrer hohen Bevölkerungszahl und -dichte sowie ihrer auf engstem Raum konzentrierten Sachwerte in Milliardenhöhe extrem gefährdet. Das Katastrophenvorsorgemanagement umfasst dabei Maßnahmen von staatlicher, stadtplanerischer baulicher und privater Seite. Der Erfolg all dieser Maßnahme lässt sich jedoch erst bei einem schweren Beben nachweisen.

- Fluchtdistrikte und Fluchtstraßen
- Brandschutzschneisen
- Evakuierungsstützpunkte (z. B. Parks, Sportplätze, Parkplätze) mit Infrastrukturbasis und Vorratsdepot (Trink- und Löschwasser, Lebensmittel, medizinische Versorgung)

M3 Stadtplanerische Vorsorge

AUFGABEN

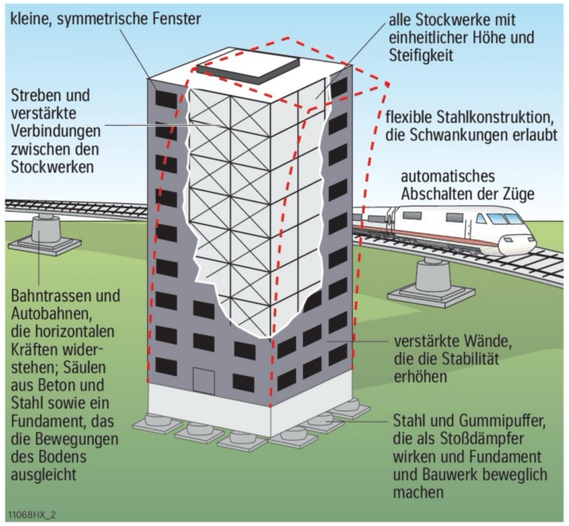
1. Erdbebenkatastrophe in Tokio: Diskutieren Sie, was dies für die Megastadt bedeuten würde (M2).
2. Stellen Sie die Gefährdung Japans durch Naturrisiken ausführlich dar (M1, Atlas).
3. a) Erläutern Sie Möglichkeiten des erdbebensicheren Bauens (M4, M5).
   b) Analysieren Sie die Erdbebensicherheit des Tokyo Syktree mit dem baulichen Vorbild des Shinbashira-Dämpfungsprinzips alter japanischer Pagoden (M2, M4, Internet, z. B. TU München).
4. Katastrophenvorsorge Tokios (M2 – M8):
   a) Bewerten Sie die staatlichen, stadtplanerischen, privaten und baulichen Maßnahmen.
   b) Erstellen Sie eine Mindmap zur Erdbebenvorsorge Tokios (▸S. 225).



„Eines der Geheimnisse der Erdbebenresistenz liegt im zentralen Mittelpfeiler (Shinbashira, ‚Herz-Pfeiler'), der bei den meisten Pagoden nicht fest im Boden verankert ist, sondern gleichsam frei schwebend erst in einiger Entfernung vom Boden beginnt. Die Pagode ruht daher auf mehreren symmetrisch verteilten Stützen und lässt sich im Bedarfsfall sogar ein wenig verschieben. Die einzelnen Balken einer Pagode sind nicht genagelt, sondern ineinandergesteckt und verkeilt, was eine gewisse Beweglichkeit zulässt und Schwingungen innerhalb des Bauwerks abbremst. Darüber hinaus entsteht bei einem Beben ein Schwingungsmuster, das die Erschütterungen abfedert, weil sich jedes Stockwerk in eine entgegengesetzte Richtung bewegt. Dieses Phänomen wird im Fachjargon als ‚Schlangentanz' der Pagoden bezeichnet."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Erdbebensichere Pagoden als Vorbild für den Tokyo Skytree (M2)



M5 Erdbebensicheres Bauen (bis Magnitude 8)

Katastrophenschutz ist in Japans Gesellschaft fest verankert. Schon im Kindergarten werden etwa zweimal pro Monat die Kinder darin geschult, wie sie sich bei Erdbeben, Vulkanausbrüchen oder Tsunamis zu verhalten haben. Wichtige Infrastruktur muss besonders erdbebensicher gebaut werden. Rettungsleitern an Balkonen und Feuermelder in Wohnungen werden mehrmals im Jahr überprüft. In Tokio will die Stadtregierung sogar vier Katastrophenschutzschiffe bauen lassen, um im Notfall damit Verletzte und Hilfsgüter transportieren zu können.

M6 Katastrophenschutz in Japan

„Notgepäck: Packen Sie einen Rucksack mit den notwendigen Dingen, um drei Tage auf einem Sammelplatz im Freien durchzuhalten. Diesen Zeitraum sollte man einkalkulieren, bis nach einem wirklich starken Erdbeben die Hilfe von außen in größerem Umfang einsetzt.

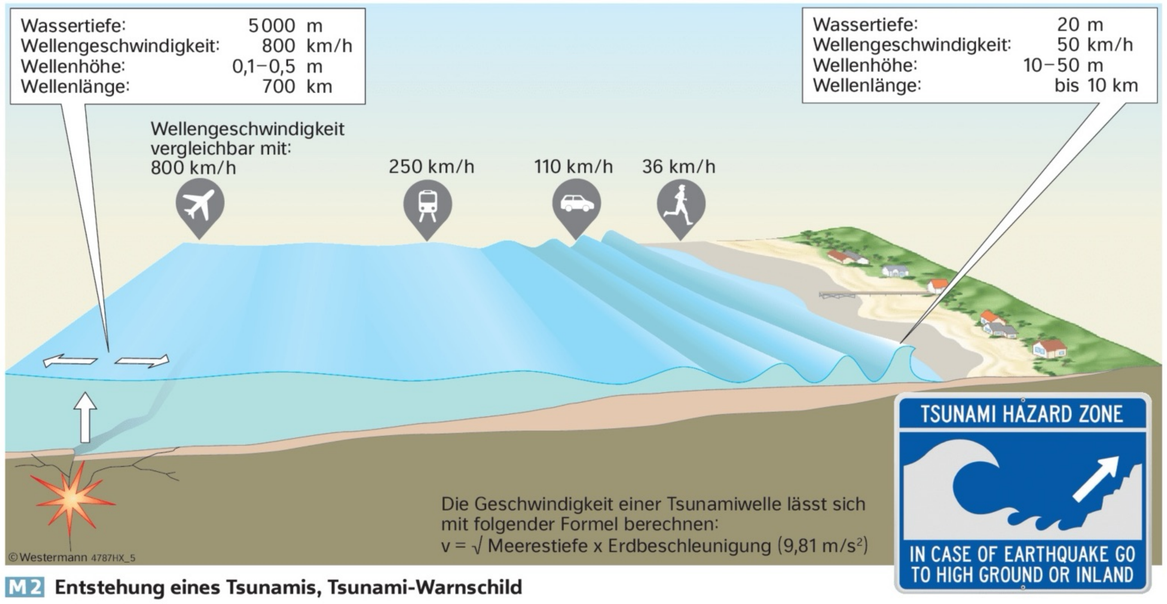
Pro Person 3 Liter Wasser (2 große Plastikflaschen), haltbare Verpflegung (z. B. Kekse, Studentenfutter), Schlafsack, Isoliermatte, Schutzhelm, Regenschutz (auch Plastikfolie), Verbandsmaterial, Impfpass, Toilettenpapier, Bargeld, Ausweispapiere (ggf. Kopien), Taschenradio mit Ersatzbatterien, Landkarte Ihrer Umgebung, Medizin, Taschenlampe, Kerzen, Taschenmesser, Feuerzeug, Ersatzbrille, Plastiktüten, Armbanduhr, Kugelschreiber und Papier, Telefonkarte und Kleingeld für öffentliche Fernsprecher, wichtige Schlüssel, Japanisch-Taschenwörterbuch. In japanischen Kaufhäusern können fertige Zusammenstellungen erworben werden."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M7 Tipps der deutschen Auslandsvertretungen zur Erdbebenvorsorge in Japan

M8 Erdbebenschutzübung in einer japanischen Schule

M1 Folgen eines Tsunamis auf der indonesischen Insel Sulawesi im September 2018



M2 Entstehung eines Tsunamis, Tsunami-Warnschild

AUFGABEN

1 Tsunamis in Indonesien:
a) Stellen Sie Vermutungen an, wie hoch die Flutwelle für die in M1 dargestellten Folgen gewesen sein musste.
b) Recherchieren Sie zu den größten Tsunami-Ereignissen im Raum Indonesien (Jahr, Höhe der Flutwelle, Todesopfer, ▸S. 228).

2 Erklären Sie die Entstehung von Tsunamis (M2, Text).

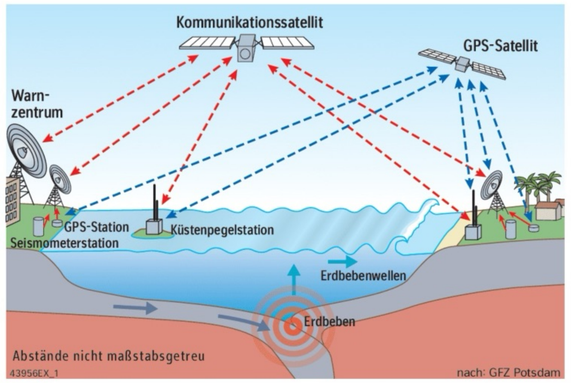
3 a) Erläutern Sie die Funktionsweise von Tsunami-Warnsystemen sowie die Grenzen ihrer Warnmöglichkeiten (M3, M4, Text, Internet, z. B. *International Tsunami Information Center*, GFZ Potsdam).
b) Recherchieren Sie wesentliche Prinzipien der Aufklärung der Bevölkerung im Hinblick auf Tsunami-Gefährdungen und erstellen Sie ein Warn-Video für Einheimische und Touristinnen und Touristen (Internet).

4 Beben mit Tsunami und anschließender Nuklearkatastrophe in Fukushima am 11.03.2011:
a) Erstellen Sie eine Strukturskizze mit den Aspekten Ereignisse, Entstehung, Folgen und Maßnahmen. Berücksichtigen Sie dazu auch Ökonomie, Ökologie und soziale Aspekte (Atlas, Internet).
b) Beurteilen Sie Japans Energieversorgung (Atlas).

E↑ Tsunamis – küstennahe Flutwellen

Im September 2018 verursachte ein Tsunami auf der indonesischen Insel Sulawesi schwere Schäden. Als Ursache gilt der Ausbruch des Vulkans Anak Krakatau zwischen Sumatra und Java im Indischen Ozean. Der Ausbruch führte zu einem Einstürzen des Kraters. Dadurch wurde vulkanisches Material aus Vulkangestein, Lava und Geröll ins Meer freigesetzt, wodurch wiederum eine Flutwelle entstand.

Als **Tsunami** (jap.: „tsu"– Hafen, „nami" – Welle) werden (Flut-)Wellen bezeichnet, die vor allem in Küstennähe markant ausgeprägt sind und dort große Zerstörung anrichten. Meist entstehen sie in Subduktionszonen durch plötzliche Hebung oder Senkung des Meeresbodens. Ursache dafür sind zu 90 Prozent Erdbeben unter dem Ozean (Stärke mindestens 7,0 auf der Richterskala), wenn sich meist seit Jahrzehnten aufgebaute Spannungen ruckartig lösen. Seltenere Ursachen sind Vulkanausbrüche, Erdrutsche oder Einschläge großer kosmischer Objekte.
Die Vertikalbewegung des Bodens versetzt die darüber liegende Wassersäule in Schwingung, die sich mit mehreren Wellenbergen und Wellentälern nach allen Seiten ausbreitet. Diese energiereichen Wellen können Entfernungen über Tausende Kilometer zurücklegen. Dabei sind die Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Wellenlänge und die Wellenhöhe (Amplitude) vor allem von der Wassertiefe abhängig (M2). Der komplexe Entstehungs- und Ausbreitungsprozess erschwert genaue Vorausberechnungen der Höhe und der zeitlichen Aufeinanderfolge der Tsunamiwellen sowie des gefährdeten Küstenabschnitts. Die Laufzeit von Tsunamis durch Bereiche der Ozeane mit großer Wassertiefe lässt sich schnell und genau berechnen, sobald der Entstehungsort (Epizentrum) bekannt ist. Je weiter dieser Ort vom Küstenbereich entfernt ist, desto größer ist die Chance für eine rechtzeitige Warnung. Voraussetzungen für ein funktionierendes Frühwarnsystem sind neben einer Vielzahl an Sensoren zur Gewinnung der erforderlichen Daten deren sofortige Weiterleitung (z. B. über Satelliten) und Verarbeitung. Davon hängt die umgehende Einspeisung der abgeleiteten Erkenntnisse in nationale und internationale Informationssysteme und Weitergabe an Alarmierungszentren ab (M3).

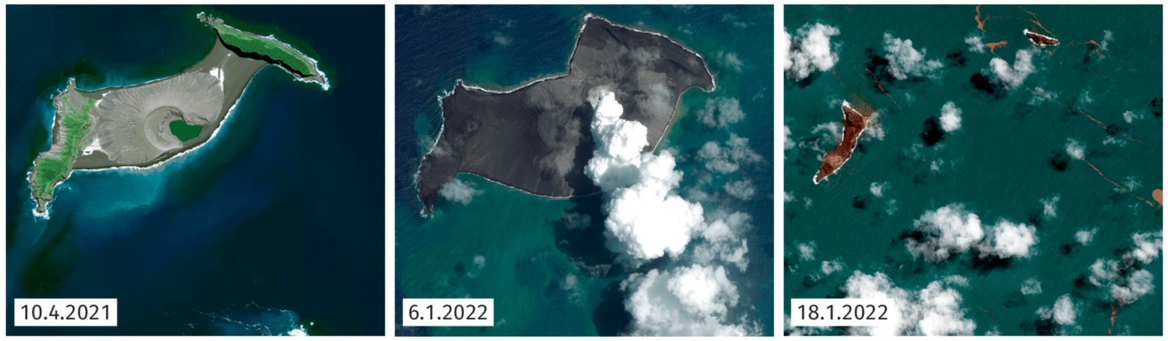


M3 Funktionsweise eines Tsunami-Frühwarnsystems

Frage: Indonesiens Frühwarnsystem müsste Alarm schlagen, sobald ein Erdbeben oder Seebeben registriert wird, welches Tsunamis auslösen kann. Dennoch wurden im Dezember 2018 die Menschen auf Sumatra erneut von einer Flutwelle überrascht. Hat das System nicht funktioniert?

Thomas Walter: Das System funktioniert, hat in diesem Fall dennoch nicht ausgeschlagen. Nach dem katastrophalen Tsunami im Indischen Ozean am 2. Weihnachtstag 2004 hat Deutschland im Rahmen der humanitären Unterstützung neue Methoden zur Identifizierung und Charakterisierung von Erdbebenparametern und Tsunamis entwickelt und basierend hierauf innovative Frühwarnkapazitäten in der Region aufgebaut. Seit 2011 ist dieses System in Indonesien bei der Agentur für Meteorologie, Klimatologie und Geophysik in Betrieb und konnte mehrfach erfolgreich in die Warn- und Entscheidungskette einfließen. Die Idee bei diesem Frühwarnsystem ist nicht, die Tsunamis selbst, sondern die in 90 Prozent der Fälle auslösenden und vorangehenden Erdbeben zu registrieren. Tsunamis, die ohne größere Erdbeben und somit scheinbar ohne Vorwarnung geschehen (wie im Dezember 2018) sind sehr selten und vermutlich durch Rutschungen verursacht. Nur weniger als fünf Prozent aller Tsunamis werden so an Vulkanen wie dem Krakatau ausgelöst. Forscher weltweit arbeiten derzeit an Möglichkeiten, auch diese rechtzeitig aufzuspüren.
[...]
Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Experteninterview mit Prof. Dr. Thomas Walter (Geoforschungszentrum Potsdam)



M1 Ausbruch des Hunga Tonga Hunga Ha'apai (2022)

E↑ Vulkanismus – Nutzen und Risiken

„Es sollte ein normaler Tag auf dem Boot werden, ein lang ersehnter Trip zum Speerfischen wartete auf uns. Seit einigen Wochen sahen wir bereits von der Insel aus die Rauchsäulen über dem Vulkan. Aber mit dem, was folgen sollte, rechnete keiner von uns. Innerhalb weniger Minuten schlug der sonnige Nachmittag in ein Horrorszenario in völliger Dunkelheit um." So berichtet der nach Tonga ausgewanderte Deutsche Felix Windmüller in einem Interview 2022 mit „Der Spiegel". Wie und wo kommt es zu solch explosivem Vulkanismus?

AUFGABEN

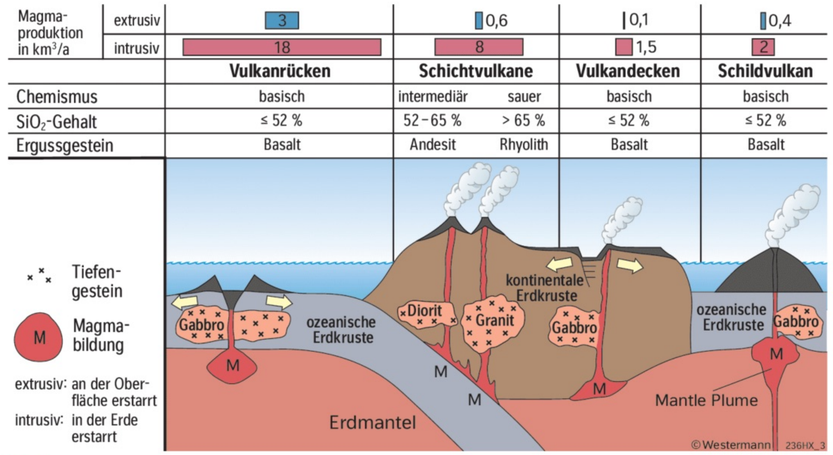
1. Analysieren Sie die Satellitenbilder und erklären Sie die Bildinhalte (M1, ▸S. 221).
2. Verbreitung von Vulkanismus und Ausbruchsarten:
   a) Arbeiten Sie Zusammenhänge zwischen dem Vulkanismus und dem plattentektonischen Geschehen heraus (M2, Text, Atlas).
   b) Vergleichen Sie die verschiedenen Formen des Vulkanismus (M2, Internet).
3. Vulkanausbruch auf La Palma (▸S. 190/191):
   a) Diskutieren Sie, wie Einheimische und Touristinnen und Touristen den Ausbruch erlebt haben könnten.
   b) Identifizieren Sie im Bild verschiedene Förder- und Eruptionsprodukte aus M3.
4. Nutzen und Risiken von Vulkanismus:
   a) Bewerten Sie die unterschiedlichen Gefährdungen, die mit Vulkaneruptionen einhergehen (Text, M3).
   b) Nehmen Sie Stellung, unter welchen Bedingungen ein Leben in Vulkannähe für Sie vorstellbar wäre (M4).

Verbreitung von Vulkanen

Ein Großteil der Vulkane ist an die Prozesse an Plattengrenzen gebunden. So liegen die meisten sichtbaren aktiven Vulkane im Bereich von Subduktionszonen, besonders gehäuft rund um den Pazifik (**zirkumpazifischer Feuerring**). Auch in Europa gibt es vulkanisch aktive Zonen. Sowohl in Süditalien als auch in Island kommt es mitunter zu heftigen Ausbrüchen. In Deutschland zeugen die **Maare** der Eifel und die **Caldera** des Laacher Sees von nicht endgültig erloschenem Vulkanismus. Neben Vulkanen an Plattengrenzen gibt es auch Vulkane, die unabhängig davon sind. Sie liegen über sogenannten *Mantle Plumes*, die einen *Hotspot* bilden (z. B. Kanarische Inseln, Hawaii-Inseln, ▸S. 158/159).

Ausbruchsarten

Vulkanausbrüche sind immer mit dem Auswurf oder Ausfluss von Gesteinsmaterial verbunden. Der Vulkanismus kann daher nach Ausbruchsarten unterschieden werden (M2): Beim **explosiven Vulkanismus** kommt es meist zu kurzzeitigen, heftigen Ausbrüchen, bei denen ganze Vulkangipfel weggesprengt und zerkleinert werden können. Die vulkanischen Förderprodukte (M3), zum Beispiel Gas, Asche, Gesteinsbrocken, können teils kilometerhoch in die Atmosphäre geschleudert werden. Dort bilden sie eine Eruptionswolke. Reicht der Auftrieb nicht mehr aus, fällt diese Wolke in sich zusammen, sehr heiße Gase stürzen mit der **Tephra** zu Boden und bilden einen **pyroklastischen Strom**. Dieser kann sich mit bis zu 400 Kilometer pro Stunde (vereinzelt auch noch schneller) hangabwärts bewegen und zu großen Zerstörungen führen. Demgegenüber steht der **effusive Vulkanismus**. Hier steigt **Magma** aus dem Erdinneren nach oben auf und tritt meist kontinuierlich aus. An der Erdoberfläche wird diese glutflüssige Gesteinsschmelze **Lava** genannt. Diese Ausbruchsarten führen im Zusammenhang mit den naturräumlichen Gegebenheiten zu unterschiedlichen Vulkanformen (M2).



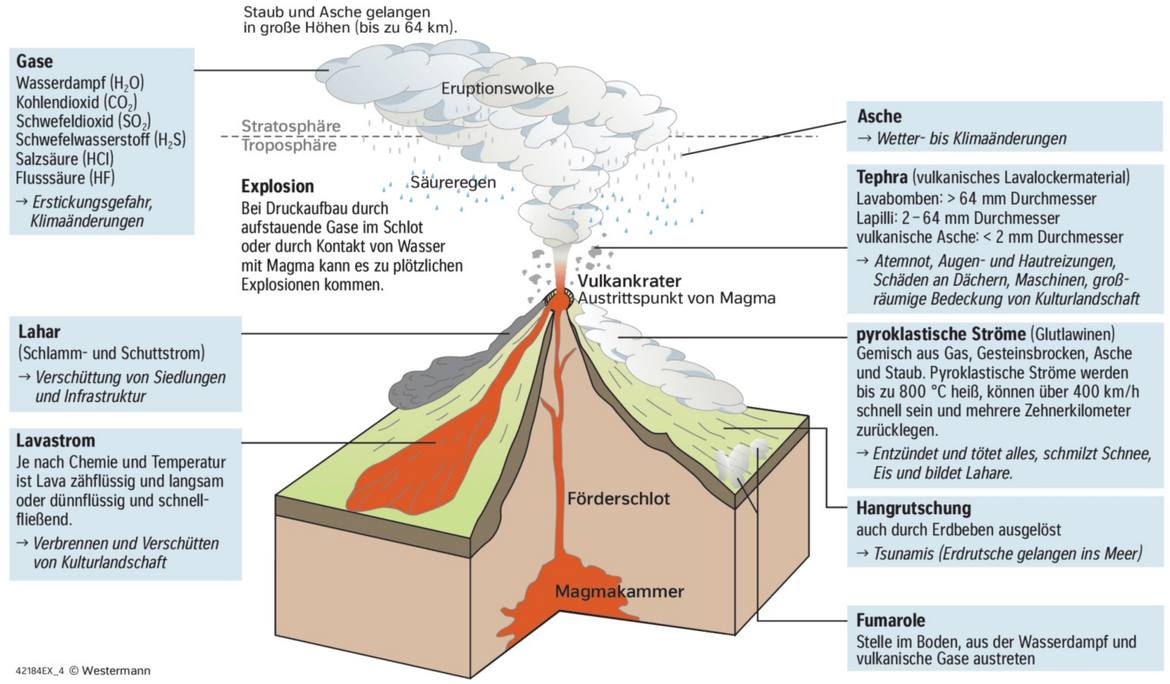
M2 Vulkanismus und Plattentektonik (vereinfacht)

Gefährdungs- und Nutzungspotenzial

Trotz des hohen Gefährdungspotenzials aufgrund der verschiedenen Förder- und Eruptionsprodukte sowie nachfolgender Gefahren wie Erdbeben und Tsunamis gelten viele aktive Vulkangebiete als Gunsträume (M3) und sind dementsprechend dicht besiedelt. Ein Beispiel sind die Phlegräischen Felder (▸S. 202/203).

- dichte Laven, z. B. Basalt, für Pflaster- und Mühlsteine
- Split für den Straßenbau und Bahndämme
- Tuff für Zement und zur Gebäudeverkleidung
- Bims für den Hausbau und für Katzenstreu
- Schwefel für die Industrie, z. B. zum Härten von Reifengummi
- oberflächennahe Geothermie, v. a. zur Gebäudeheizung, tiefe Geothermie zur Energiegewinnung
- vulkanische Lockermaterialien als fruchtbarer Boden
- vulkanische und postvulkanische Erscheinungen als touristische Attraktion
- Heilwirkung von Thermalquellen und schwefelhaltigen Dämpfen u. a. bei Rheuma oder Atembeschwerden

M4 Nutzungsformen des Vulkanismus (Beispiele)

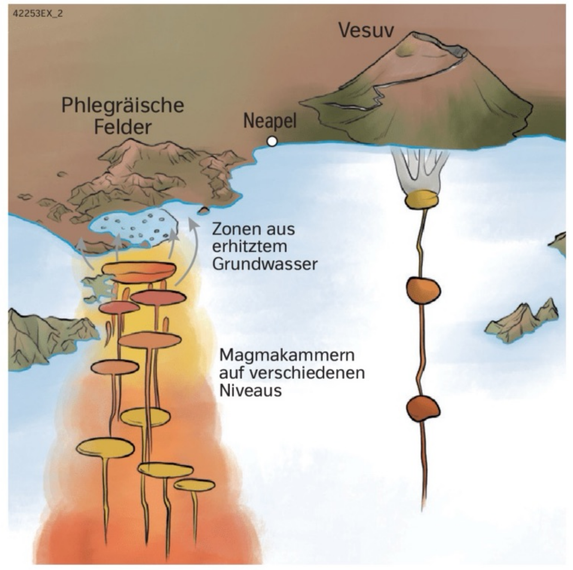


M3 Vulkanische Förderprodukte und ihre Auswirkungen

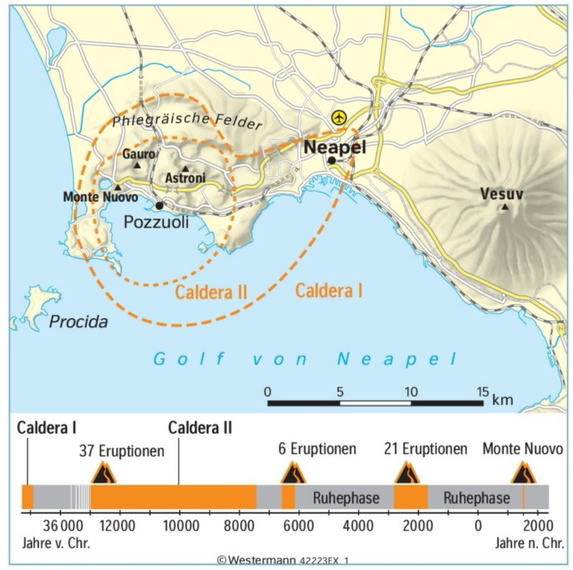
M1 Satellitenbild der Phlegräischen Felder

Solfatare sind Fumarolen, die hauptsächlich Schwefelwasserstoff enthalten, benannt nach dem Vulkankrater Solfatara.

M2 Solfatare



M3 Magmasystem in der Region um Neapel



M5 Historische Eruptionen der Phlegräischen Felder

E↑ Phlegräische Felder – ein Supervulkan

Der Marktplatz von Pozzuoli, einer Stadt circa 15 Kilometer westlich von Neapel, ändert seine Höhenlage: In den letzten 2200 Jahren schwankte diese zwischen –6 m und +6 m über NHN. Wie kommt es dazu?

Grund dafür ist die Solfatara, ein Vulkankrater, der auch heute noch aktiv ist. Das Aufblähen seiner Magmakammer könnte diese Hebung erklären. Dies ist ebenso ein Anzeichen vulkanischer Aktivität wie die Austrittsstellen von Wasserdampf und heißen Gasen (Fumarole), die in der Solfatara zu finden sind. Ein weiteres Indiz ist die verstärkte Erdbebentätigkeit in diesem Gebiet.

Die Solfatara gehört zum Vulkanfeld der Phlegräischen Felder, das in den vergangenen 40000 Jahren sehr aktiv war und auch heute noch ist (M5). Zeugen der heftigen Ausbrüche sind die beiden mehrere Kilometer großen Calderen, die sich bis weit in den Golf von Neapel ziehen. Obwohl die Phlegräischen Felder sich eher unscheinbar in die Landschaft einbetten, sind sie aktuell der Vulkan Europas, der Geologinnen und Geologen am meisten beunruhigt. Der Grund ist die extrem große Magmakammer unter dem Vulkanfeld. Zwischen ihr und der Erdoberfläche hat sich ein mit Wasser gefülltes hydrothermales System ausgebildet. Würde Magma auf diese Wassermassen treffen, so käme es zu einem heftigen Ausbruch. Dieser könnte sogar Stufe 8, die höchste Stufe auf dem **Vulkanexplosionsindex** (VEI) erreichen. Dann wäre, je nach Windrichtung, das 250 Kilometer entfernte Rom mit Asche bedeckt. Selbst in Deutschland müsste man mit Ascheregen rechnen. Die Auswirkungen auf das Klima wären über Jahre spürbar. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fürchten daher den Ausbruch dieses sogenannten Supervulkans deutlich stärker als zum Beispiel den Ausbruch von Neapels „Hausvulkan", dem Vesuv.

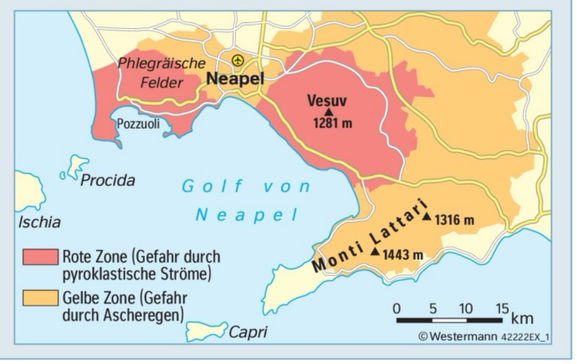
AUFGABEN

1. Verorten Sie die Phlegräischen Felder anhand geeigneter Atlaskarten und analysieren sie den umgebenden Naturraum sowie seine anthropogene Nutzung (M1, Atlas).
2. Erläutern Sie den geologischen Hintergrund des Vulkanfeldes der Phlegräischen Felder (Text, M3).
3. Monitoring der vulkanischen Aktivitäten:
   a) Erklären Sie, warum die Aktivitäten der Phlegräischen Felder seit Jahrzehnten streng überwacht werden (Text, M5).
   b) Diskutieren Sie die Möglichkeiten und Grenzen von Risikoforschung und Risikomanagement (M2, M5, Text, Internet, z. B. Vesuv-Observatorium).
   c) „Der Großraum Neapel muss geräumt werden!" Nehmen Sie Stellung zu dieser Aussage (M4).

„Die jüngste Version des nationalen Notfallplans für den Vesuv aus dem Jahr 2014 unterscheidet verschiedene Zonen der Gefährdung und sieht vor, die Rote Zone – der Bereich der höchsten Gefahrenstufe – bei einer drohenden Eruption vollständig zu räumen. Heute leben etwa 700000 Menschen in dieser Gefahrenzone. Obwohl ein Teil der [Forschenden] davon überzeugt ist, dass die Vorwarnzeit bei einem Ausbruch nur etwa zwölf Stunden beträgt, soll laut Plan die Evakuierung der gesamten Bevölkerung innerhalb von 72 Stunden erfolgen, und zwar gemäß einer komplizierten Strategie mit Bussen, Zügen und Schiffen. Im ersten Schritt sollen die Personen durch Busse oder eigene Verkehrsmittel von festgelegten ‚Wartezonen' zu ‚Sammelstellen' gebracht werden. Allerdings sind beim Verlassen der Roten Zone Engstellen zu passieren, die im Notfallplan als ‚Tore' ausgewiesen sind. Diese Pläne haben massive Kritik hervorgerufen, insbesondere deshalb, weil das Labyrinth aus engen Gassen rund um den Vesuv schon an normalen Tagen verstopft ist und im Notfall zur Falle werden kann. Die Stadt ist hier so dicht bebaut und die Straßen sind so schmal, dass Behinderungen und Verkehrsstaus eine Evakuierung [unmöglich machen] könnten. Deshalb begannen 2015 die Arbeiten an einer neuen Straße, die den Vesuv direkt mit der Autobahn verbinden soll. Es bleibt aber schwierig, sich vorzustellen, wie verängstigte [Anwohnerinnen und] Anwohner in der kurzen Zeitspanne, die zwischen den ersten Anzeichen und einem prognostizierten Ausbruch verbleibt, den vorgeschriebenen Routen in geordneter Weise folgen werden.

Angesichts der Schwierigkeiten einer Evakuierung scheint es naheliegend, umzudenken und wenigstens die weitere Bebauung des Gefahrengebiets zu stoppen. Allerdings wurde jeder Versuch, die Siedlungsentwicklung zu beschränken, [seit] Jahren durch die fortgesetzte illegale Bautätigkeit unterlaufen. Häufige Amnestien belegen, dass Illegalität zu einem festen Bestandteil der territorialen Regulation geworden ist und als konstituierendes Element des Planungssystems der Region Neapel angesehen werden muss. Gemäß dem Flächennutzungsplan aus dem Jahr 2003 ist jede Art von Neubau innerhalb der Roten Zone untersagt, und tatsächlich wurde ab diesem Zeitpunkt auch keine Amnestie mehr für Verstöße in diesem Gebiet erlassen. Trotzdem stehen dort immer noch 27000 illegale Bauten – ganze 55 Gebäude wurden in dieser Zeit nach richterlichem Beschluss abgebrochen. Eine Abbruchverfügung zu erwirken, ist für eine Gemeindeverwaltung ein langwieriger Prozess voller Hindernisse. Sie muss dabei auch noch in Betracht ziehen, dass das illegale Bauen Ausdruck einer weit verbreiteten lokalen Kultur ist, die Illegalität akzeptiert, wenn es um die Befriedigung eines Grundbedürfnisses geht [...]."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255



M4 Evakuierungsplan und Bautätigkeit am Vesuv

Taifun Hinnamnor (Pohang, Südkorea, 06.09.2022)

Hurrikan Irma (Fort Lauderdale, USA, 10.09.2017)

M1 **Tropische Wirbelstürme**

AUFGABEN

1. Brainstorming: Tragen Sie im Kurs zusammen, an welche Stürme Sie sich erinnern können.
2. Erläutern Sie die Entstehung von tropischen Wirbelstürmen und ihre Merkmale (Text, M4).
3. Beschreiben und begründen Sie, welche Regionen durch tropische Wirbelstürme gefährdet sind (M2).
4. Stellen Sie anhand der Bilder (M1) die Auswirkungen von tropischen Wirbelstürmen dar.
5. „Schwere Stürme dürften zunehmen." Leiten Sie Konsequenzen und Maßnahmen aus dieser Prognose ab (M3). Recherchieren Sie dazu im Internet.
6. Vergleichen Sie die tropischen Wirbelstürme mit Tiefdruckgebieten in den gemäßigten Breiten (▸S. 25).

E↑ Tropische Wirbelstürme

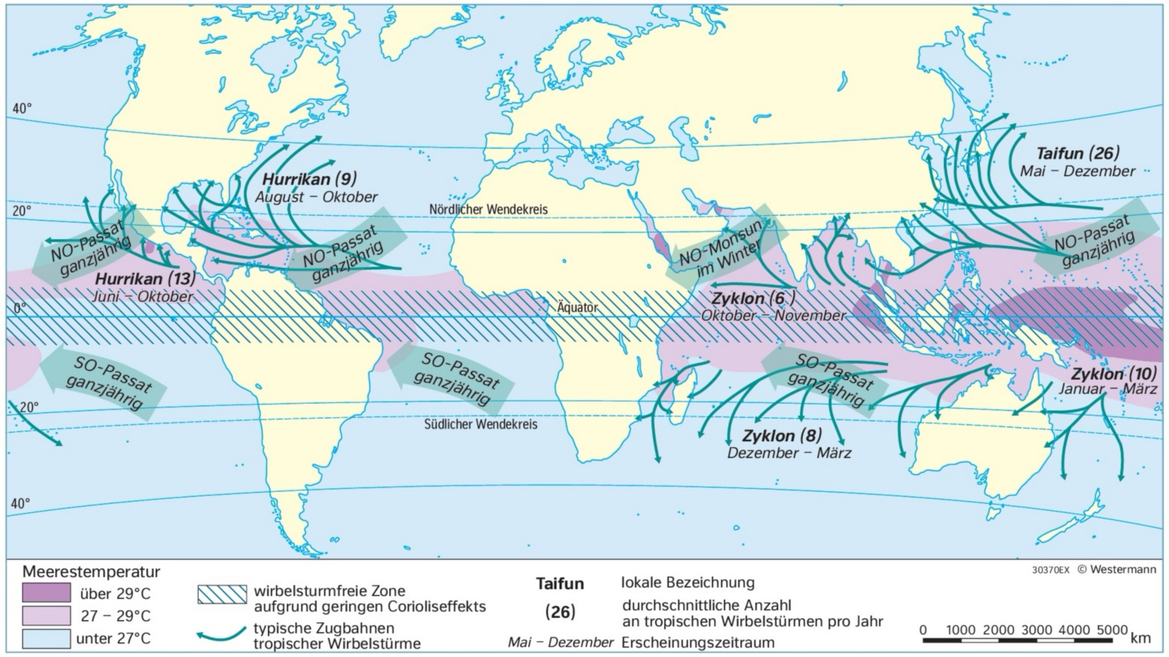
Jedes Jahr im Spätsommer berichten die Medien von Hurrikanen, die über die Karibik fegen, von Taifunen, die auf die Küsten Südostasiens treffen, oder von Zyklonen im Indischen Ozean. Was haben diese Stürme gemeinsam, wie entstehen sie und warum gerade in den genannten Regionen?

All diese je nach Region unterschiedlich bezeichneten Stürme (M2) zählen zu den **tropischen Wirbelstürmen**, die im Bereich der Innertropischen Konvergenzzone (ITC) unter folgenden Voraussetzungen entstehen:

- Die Temperatur der Meeresoberflächen muss bis in eine Tiefe von 50 Metern mindestens 26,5 °C betragen.
- Es muss ein Mindestabstand von fünf Breitengraden nördlich und südlich des Äquators bestehen, da sonst der Corioliseffekt nicht ausreicht, um den aufsteigenden Luftmassen den charakteristischen Drehimpuls zu verleihen.

Aufgrund intensiver Sonneneinstrahlung verdunsten große Wassermengen (M4). Die feuchtwarmen Luftmassen steigen zügig auf und der enthaltene Wasserdampf kondensiert zu Wassertropfen. Die dabei frei werdende latente Energie treibt den Prozess selbstverstärkend an: Die Temperatur in höheren Luftschichten nimmt zu und die erwärmte Luft steigt konvektiv weiter nach oben. Das Aufsteigen der Luftmassen bewirkt einen Unterdruck an der Meeresoberfläche, wodurch weitere feuchtwarme Umgebungsluft spiralförmig aus seitlicher Richtung einströmt. Aufgrund des Corioliseffekts beginnen sich die Luftmassen zu einem Wirbel zu entwickeln. Unterstützt wird der Prozess weiter durch die rasche Abfuhr der in großer Höhe abgekühlten Luft. Sie strömt entweder seitlich aus oder sinkt im Zentrum wieder nach unten ab, wobei sie sich erwärmt. Die damit einhergehende Wolkenauflösung und Windstille kennzeichnen das Auge des Wirbelsturms. Sobald die Stürme auf Land auflaufen oder über kühlere Meeresoberflächen gelangen und somit der Nachschub an feuchtwarmer Luft abreißt, schwächen sie sich binnen kurzer Zeit ab.

Tropische Wirbelstürme können einen Durchmesser von mehreren Hundert Kilometern erreichen. Das Auge hat üblicherweise einen Durchmesser von 20 bis 70 Kilometern und einen Luftdruck von teilweise unter 900 Hektopascal. Trotz extremer Windstärken von über 118 Kilometern pro Stunde, die neben den starken Niederschlägen große Schäden anrichten, ist die Zuggeschwindigkeit eines tropischen Wirbelsturms hingegen mit meist 25 Kilometern pro Stunde recht langsam. Dies macht eine relativ gute Vorhersagbarkeit der Zugbahnen möglich, sodass Warnungen rechtzeitig ausgesprochen werden können.



M2 **Verbreitung tropischer Wirbelstürme**

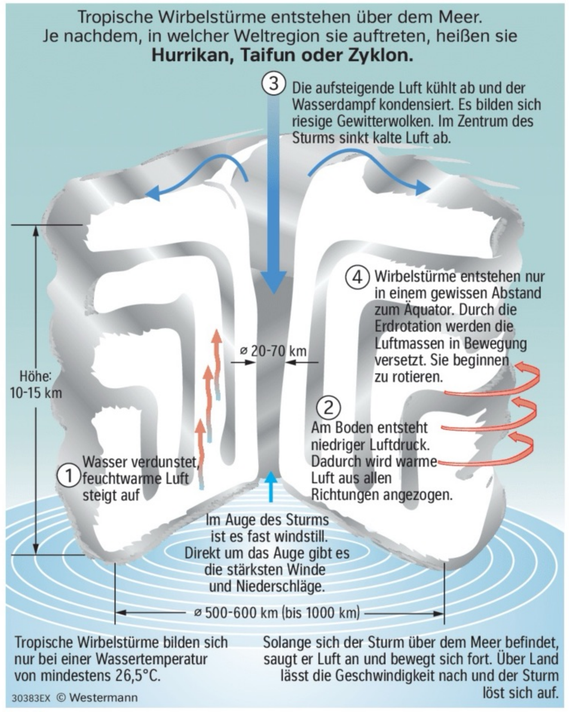
Schwere Stürme dürften zunehmen

Nicht nur natürliche Klimazyklen wie sogenannte Warm- und Kaltphasen der Oberflächentemperaturen tropischer Ozeane, sondern auch der [rezente] Klimawandel beeinflussen die Aktivität von Wirbelstürmen. Was derzeit bekannt ist:

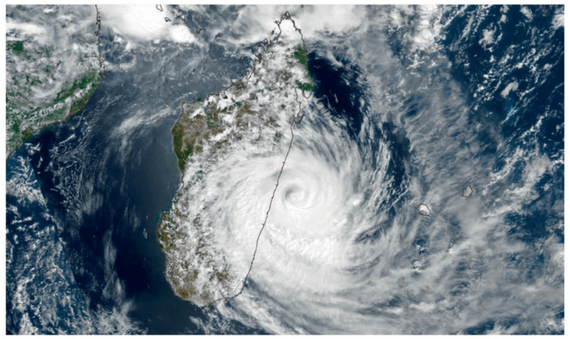
- Aktuelle wissenschaftliche Studien gehen überwiegend davon aus, dass in den meisten Ozeangebieten die Zahl der tropischen Wirbelstürme bis Mitte bzw. Ende des 21. Jahrhunderts praktisch unverändert bleiben wird.
- Allerdings wird erwartet, dass schwere Stürme (Kategorie 4 bis 5 auf der Saffir-Simpson-Skala) in den meisten Regionen häufiger auftreten.
- Die Niederschläge im Kernbereich um das Sturmzentrum dürften wegen der höheren Verdunstung über den sich erwärmenden Meeresoberflächen zunehmen. Einer Studie zufolge hat der [rezente] Klimawandel extreme Niederschläge wie bei Hurrikan Harvey 2017 in der Region Houston bereits deutlich wahrscheinlicher gemacht.
- Wir erwarten, dass außergewöhnliche Hurrikanjahre wie 2004, 2005 (Katrina) und 2017 (Harvey, Irma, Maria) in der Zukunft häufiger auftreten.

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M3 **Prognose des Rückversicherers Munich Re**



M4 **Entstehung tropischer Wirbelstürme**



M1 Satellitenbild des Zyklons Emnati am 22.02.2022

M2 Prognostizierte Zugbahn von Emnati am 19.02.2022

E↑ Madagaskar – in der Zugbahn von Zyklonen

„Bevor die Böden wieder trocken sind, kommt schon der nächste schwere Regen und die Überflutung wird mit jedem Sturm schlimmer. Die Menschen kommen aus der Katastrophenlage gar nicht mehr hinaus."

Mit diesen Worten kommentierte Rupa Mukerji, Mitautorin des 6. IPCC-Sachstandsberichts, die Situation auf Madagaskar – einem der ärmsten Länder der Welt –, nachdem am 22./23.02.2022 der Zyklon Emnati als vierter schwerer Sturm innerhalb eines Monats über die Insel fegte. Die Dächer vieler Häuser wurden weggerissen, Straßen überflutet (▸S. 190), über 100 Menschen starben, fast 50 000 wurden obdachlos. Solche Katastrophen werden sich laut Klimaspezialistinnen und -spezialisten wie Mukerji in Zukunft häufiger ereignen, wenn die globale Klimaerwärmung weiter voranschreitet.

Bevölkerung: 28,9 Mio. Einw. (Deutschland: 83,2 Mio. Einw.)	Ärzte je 1000 Einw.: 0,2 (Deutschland: 4,4)
BIP pro Kopf: 507 USD (Deutschland: 51 238 USD)	Welthungerindex 2022: 38,7 („sehr ernst") (Deutschland: nicht erfasst)
Erwerbstätige im primären Sektor: 63,8 % (Deutschland: 1,2 %)	Human Development Index 2022: 0,501 (Rang 173/188) (Deutschland: 0,942, Rang 9)
Armut (Einw. mit weniger als 1,90 USD pro Tag): 78,8 % (Deutschland: 0 %)	Naturrisiken: tropische Wirbelstürme, Dürren, Epidemien, Insektenbefall

Quellen: Statistisches Bundesamt: Länderdatenblätter Madagaskar, Deutschland, Ausgabe 2/2023, Welthungerhilfe, knoema.de, UN

M3 Strukturdaten von Madagaskar

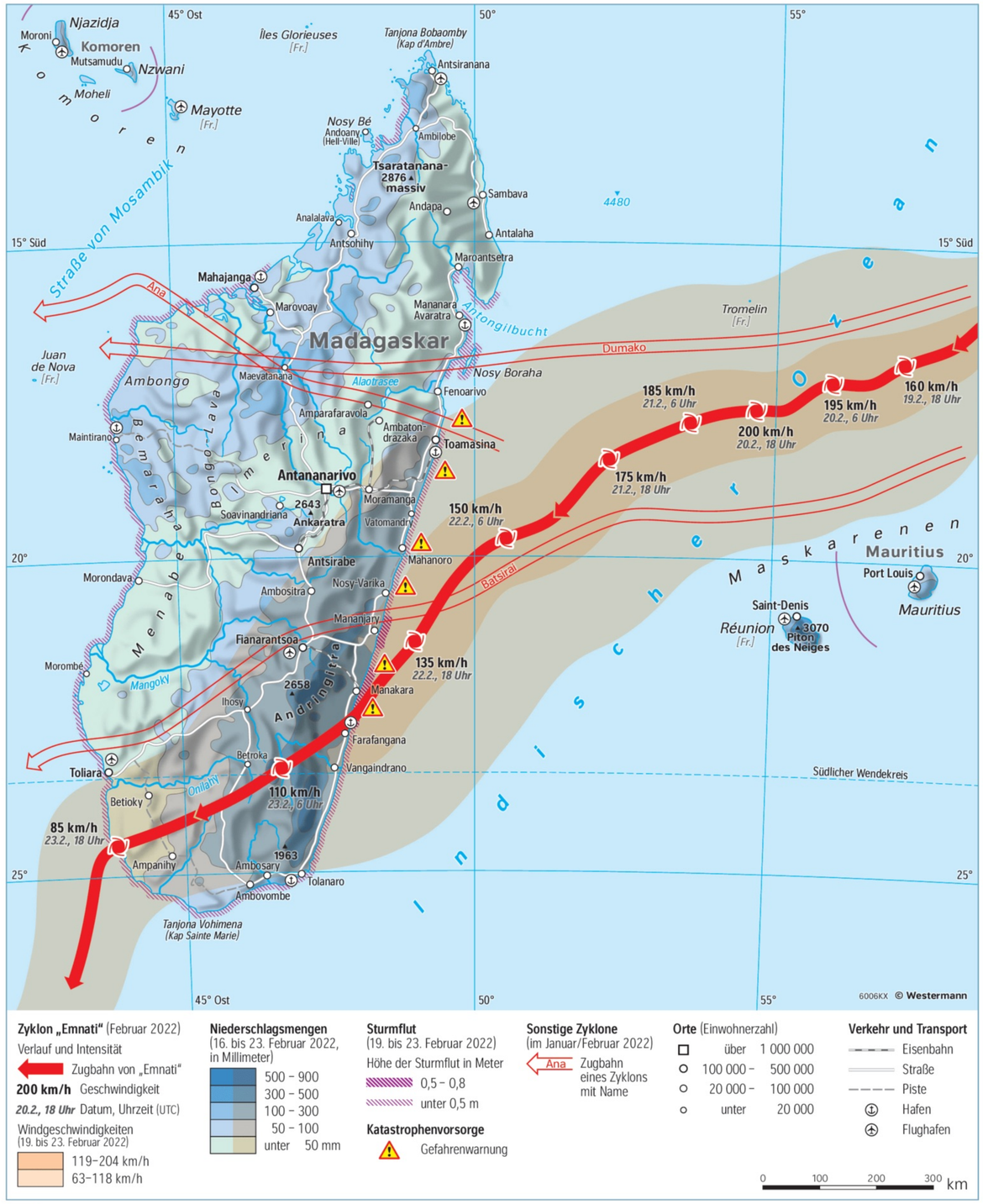
„Medair arbeitet seit 2002 in Madagaskar. Die Not- und Katastrophenhilfsorganisation reagierte zunächst auf den enormen Hilfsbedarf nach einem Zyklon. Seither unterstützt sie von extremer Armut oder von Naturkatastrophen betroffene Menschen mit sauberem Wasser, Sanitäranlagen und Hygieneleistungen und stellt Unterkünfte bereit. Bei Katastrophen arbeitet Medair eng mit lokalen Gruppierungen zusammen, z. B. Pfadfindern und Kirchen. Diese können Bedürftige im ganzen Land schnell mit Hilfe versorgen. Auch die Widerstandsfähigkeit der Menschen gegen Naturkatastrophen erhöht Medair durch Schulungen und die Vermittlung geeigneter Maßnahmen."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Internationale NGO Medair in Madagaskar

AUFGABEN

1. Emnati – tropischer Wirbelsturm über Madagaskar:
   a) Beschreiben Sie das Satellitenbild M1 und zeigen Sie Merkmale eines tropischen Wirbelsturms auf.
   b) Vergleichen Sie die prognostizierte mit der tatsächlichen Zugbahn (M2, M5). Bewerten Sie damit die Vorhersagbarkeit tropischer Wirbelstürme und Möglichkeiten der Katastrophenvorsorge.
2. Madagaskar (Text, M2–M5, Atlas, Internet):
   a) Stellen Sie den Durchzug der vier Zyklone Anfang 2022 als Zeitstrahl inklusive folgender Aspekte dar: Zyklon (Name, Datum), Eigenschaften (Zugbahn, Niederschlag), betroffene Gebiete, Schäden, langfristige Folgen, Maßnahmen.
   b) Charakterisieren Sie Madagaskars naturräumliche, ökonomische, ökologische und soziale Struktur.
   c) Leiten Sie das Gefährdungspotenzial der Insel Madagaskar ab.
3. Entwerfen Sie Handlungsstrategien für eine nachhaltige Entwicklung, auch vor dem Hintergrund des rezenten Klimawandels (Text, M3, Internet).



M5 Madagaskar unter dem Einfluss von Emnati und weiteren tropischen Wirbelstürmen im Januar und Februar 2022

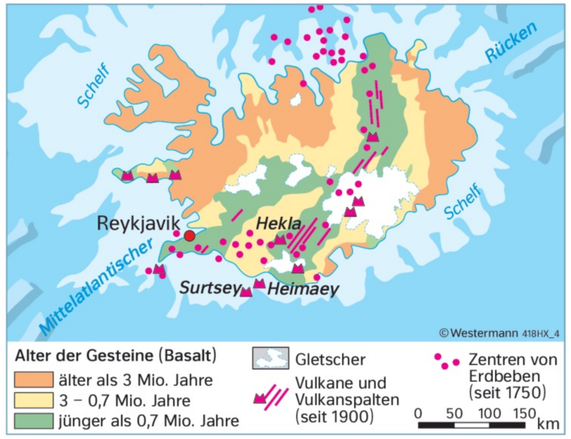
Island – größte Vulkaninsel der Welt

AUFGABEN

Arbeitszeit: 60 Minuten

1. Charakterisieren Sie unter Zuhilfenahme des Atlas sowie von M1 und M2 die Lage und den Naturraum Islands.
2. Erläutern Sie das wirtschaftliche Nutzungspotenzial Islands (M2, M4, M5, Atlas).
3. Analysieren Sie das Gefährdungspotenzial der Insel sowie die Katastrophenvorsorge Islands während der Vulkaneruption der Bárðarbunga im August und September 2014 (M1, M3, M6, Atlas).
4. Erörtern Sie Standortvorteile und -nachteile Islands für die Wirtschaft und den Handel.

M1 Bis zu 70 m hohe Lavafontänen beim Spaltenausbruch der Bárðarbunga 2014



M2 Geologie Islands

„Der Tourismus in Island war durch den Vulkanausbruch v. a. in der sommerlichen Hochsaison im August/September 2014 betroffen: Einerseits waren bekannte touristische Destinationen in der Gefahrenzone wie die Askja-Vulkancaldera, die Geothermalquellen in den Kverkfjöll sowie der Nationalpark Jökulsárglijúfur mit seinen Canyonformationen und Wasserfällen monatelang weiträumig gesperrt, was [...] zunächst einen ökonomischen Einbruch zufolge hatte. Auch schreckten offizielle Warnungen vor toxischen Gaswolken im Norden und Osten Islands Touristen teilweise ab. Andererseits profitierte der Vulkantourismus mit Rundflügen über der Eruptionsspalte, da der Luftraum nur bis zu einer Höhe von 500 m gesperrt war. So waren sämtliche verfügbare Kleinflugzeuge und Helikopter monatelang pausenlos für Sightseeing-Flüge im Einsatz. Auch Vermieter von Geländefahrzeugen, die Hotellerie und Gastronomie an den Standorten der Vulkantour-Anbieter (Reykjyvik, Akureyri, Myvatn) profitierten vom Naturereignis. Der Vulkanausbruch war letztendlich die touristische Hauptattraktion Islands im Jahr 2014 mit ökonomischen Gewinnen für die Unternehmen."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M4 Tourismus auf Island

„Island hat bereits eine vollständige Energiewende bei der Heizung und der Stromerzeugung vollzogen. [...] Schon mehr als ein Jahrhundert lang nutzt Island sowohl die Wasserkraft als auch die Erdwärme nachhaltig. Heute deckt das Land seinen kompletten lokalen Strom- und Fernwärmebedarf aus erneuerbaren Ressourcen [70% durch Wasserkraft, 30% durch geothermische Energie]. Islands Ziel ist, ab 2040 vollständig auf fossile Brennstoffe zu verzichten."

Quelle: siehe Quellenverzeichnis S. 254/255

M5 Strom- und Energieversorgung Islands

- Ein Gletscherlauf ist ein plötzlicher Wasserausbruch aus einem Gletscher oder aus einem unter einem Gletscher befindlichen (subglazialen) See.
- Er entsteht, wenn z. B. durch vulkanische Aktivität große Mengen an Schmelzwasser gebildet werden und die daraus resultierenden Flutwellen Hochwasser katastrophalen Ausmaßes verursachen.
- Beispiel: Der Grimsvötn-Vulkan unter dem Vatnajökull-Gletscher verursacht etwa alle fünf Jahre eine Schmelzwasserflut, die eine Fläche von bis zu 1000 km² bedeckt.

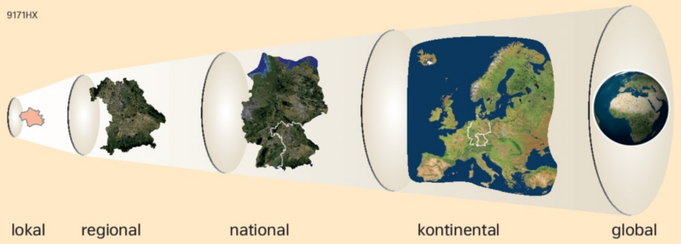
M3 Gletscherlauf (Jökulhlaup)

M6 Naturgefahren und Katastrophenvorsorge im Nordosten Islands während der Vulkaneruption der Bárðarbunga im August und September 2014

Wie denken und arbeiten Geographinnen und Geographen?

Lokale Ereignisse haben globale Auswirkungen – globale Prozesse beeinflussen lokale Entscheidungen. In diesem Spannungsfeld bewegen sich viele Frage- und Problemstellungen. Beispiele sind die Nutzung der tropischen Regenwälder (▸ Kapitel 2) oder das Thema rezenter Klimawandel (▸ S. 42–51).

Fragestellungen beziehen sich zumeist auf unterschiedlich große Raumausschnitte, weshalb es notwendig ist, das Thema auf verschiedenen Maßstabsebenen zu betrachten. So haben lokale Veränderungen der Vegetation bzw. der landwirtschaftlichen Nutzung Auswirkungen auch über die lokale Situation hinaus, z. B. auf das Mesoklima. Die nicht mehr übersehbaren Veränderungen beim Klima in den verschiedensten Regionen der Erde erfordern globale Handlungsstrategien.

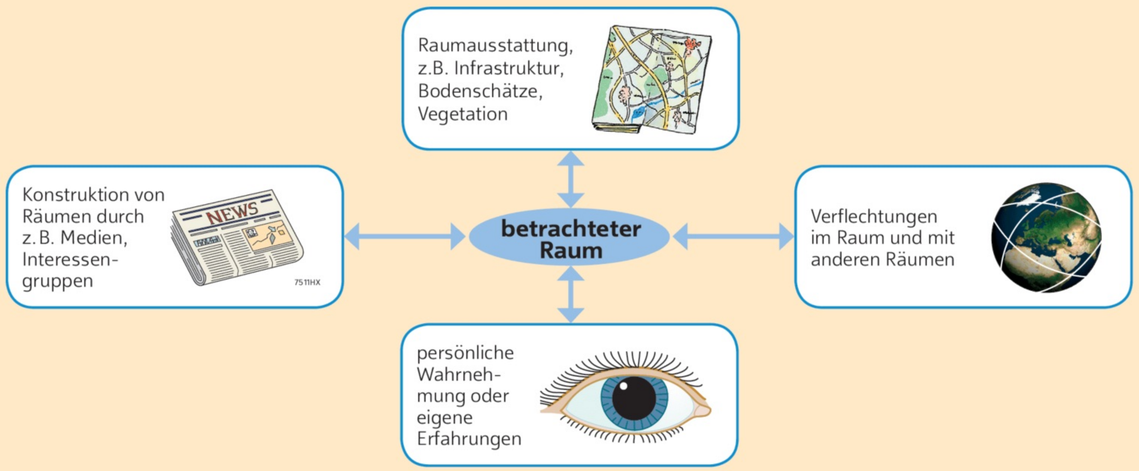


M1 Maßstabsebenen: Dimensionen bestimmen und Beziehungen klären

Um Fragestellungen beantworten oder Entscheidungen treffen zu können, muss der betroffene Raumausschnitt analysiert werden. Wie sind die Bedingungen vor Ort? Welche Möglichkeiten bieten sich vor Ort, aber auch welche Grenzen oder Risiken sind zu beachten?

- Grundlage einer Raumanalyse bildet in der Regel die Erarbeitung der physisch-geographischen Gegebenheiten, mit welchen man die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung abschätzen kann (*Raumausstattung*).
- Räume haben *Verflechtungen* und Beziehungen im Raum und mit angrenzenden Räumen und darüber hinaus (M1), welche zum Beispiel bei der Frage der landwirtschaftlichen Nutzung in Vegetationszonen eine Rolle spielen: Welche Möglichkeiten gibt es, eine Bevölkerung zu ernähren? Bestehen Handelsbeziehungen zu angrenzenden Regionen?
- Zudem hilft es zu überlegen, welche Kenntnisse man von der Region oder dem Land hat und aus welchen Quellen diese stammen – in der Regel haben nämlich wir längst ein Bild konstruiert, ohne uns dessen bewusst zu sein. Damit können Klischees oder Vorurteile aufgedeckt werden, die wir zum Beispiel über Medien erhalten (*konstruierter Raum*).
- Hat man einen Raum bereist oder bekommt Informationen von Personen, die dort leben bzw. gelebt haben, so erhält man eine andere – individuelle – Sichtweise auf den Raum (*persönliche Wahrnehmung und Sichtweisen bzw. eigene Erfahrungen*).

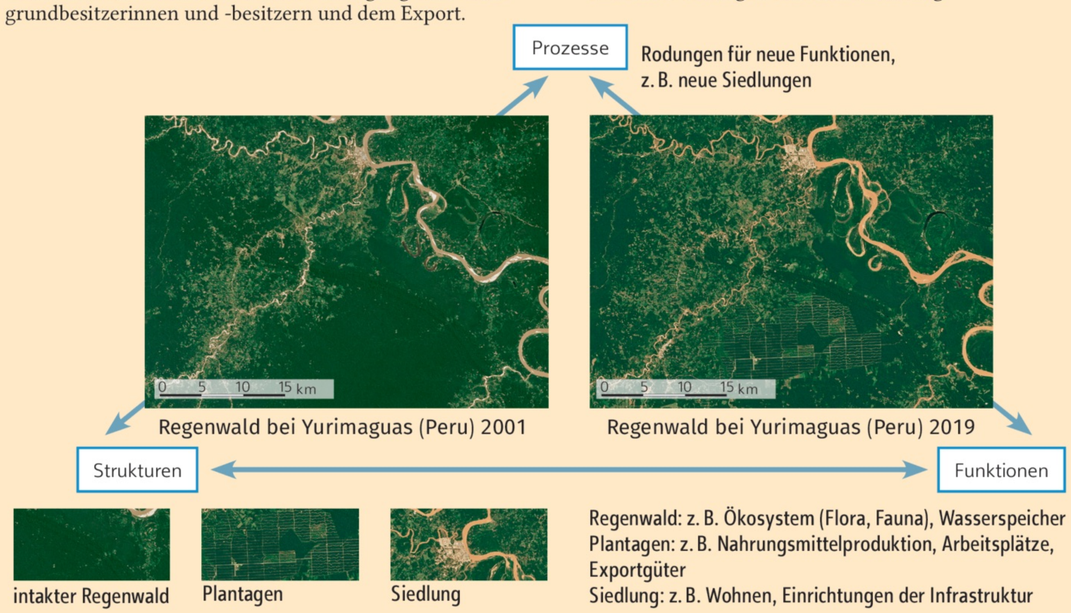
Durch die bewusste Erarbeitung dieser verschiedenen Perspektiven kann ein differenziertes Bild von einem Ort, einer Region, einem Land gewonnen werden – auch wenn dadurch nur eine Annäherung an eine objektive Sichtweise gelingt.



M2 Auf die Betrachtungsweise kommt es an: Raumvorstellungen (Raumkonzepte)

Auf (Satelliten-)Bildern und Karten können wir *Strukturen* beschreiben, deren Bedeutung (*Funktionen*) erklären und im Verlauf der Zeit deren Veränderungen (*Prozesse*) beobachten und analysieren. Zum Beispiel: Wird im Regenwald gerodet, sind Siedlungen, Straßen und neue Plantagen erkennbar, sie dienen Zuwandernden und deren Versorgung oder Großgrundbesitzerinnen und -besitzern und dem Export.

Der Prozess der Erschließung verändert die erkennbaren Strukturen auf Satellitenbildern: Die Funktion des Regenwaldes, zum Beispiel als Lebensraum und Wasserspeicher, verschwindet zugunsten von Flächen für Ackerbau und Viehzucht und damit zugunsten der Funktion Wohnen, Arbeiten, Versorgen und auch Erholung.



M3 Raumanalyse: Strukturen beschreiben – Funktionen erläutern – Prozesse analysieren

Fragestellungen und Entwicklungen werden aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet, zum Beispiel nach Interessen, Betroffenheit, aber auch aus dem Blickwinkel der Fristigkeit. So macht es einen großen Unterschied, ob man eine kurzfristige, mittelfristige oder langfristige Perspektive wählt.

Wenn es zum Beispiel um den Naturraum und dessen Nutzung geht, sollte die langfristige – und damit nachhaltige – Perspektive gewählt werden. Beispielhafte Fragestellungen dazu sind: Wie sollen Regionen mit – ursprünglich – Regenwäldern genutzt werden? Gibt es nachhaltige und gleichzeitig wirtschaftliche Nutzungsformen?“ (▸ S. 66/67) oder „Wie ist die Ausbeutung von Rohstoffen in der Subpolaren und Polaren Zone hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten?“ (▸ S. 96/97).

Hier müssen Entscheidungen für Entwicklungen und für Maßnahmen zu deren Umsetzung getroffen werden. Dazu werden die Argumente der Interessengruppen analysiert, gegeneinander abgewogen und bewertet. Auf dieser Grundlage erfolgt die Entscheidung, z. B. welche Maßnahmen ergriffen werden. Grundlegende Perspektiven dazu veranschaulicht das Nachhaltigkeitsviereck. Zum Schluss sollte die Entscheidung auf der Basis von Kriterien (z. B. Werte, Normen) getroffen werden, die im Sinne der Nachvollziehbarkeit für alle offengelegt werden (▸ S. 240).

M4 Bewerten – mit dem Nachhaltigkeitsviereck Fragestellungen diskutieren und Entscheidungen treffen

Komplexe geographische Fragestellungen lösen

Geographie beschäftigt sich insbesondere mit aktuellen Problemen, mit Entwicklungsperspektiven oder mit komplexen Herausforderungen, die für die Menschen in einer Region bestehen. Die Tageszeitungen sind voll von entsprechenden Themen, zum Beispiel das Vordringen der Wüsten, das Abholzen des tropischen Regenwaldes, die Problematik der Plantagenwirtschaft, Armut oder der rezente Klimawandel.

Dabei untersuchen Geographinnen und Geographen den Naturraum, dessen Nutzung und den Schutz. Sie finden in verschiedenen Arbeitsschritten heraus, welche Merkmale, Strukturen und Prozesse Räume prägen und erkennen Zusammenhänge. Dabei beachten sie stets unterschiedliche Sichtweisen und Blickwinkel und haben das Ziel der Nachhaltigkeit im Blick (► 211: M4).

Untersuchen von Raumstrukturen, der Raumnutzung und von Konflikten	Vernetztes Denken	Betrachten der Folgen von Handlungen	Entwickeln einer Zukunftsperspektive
Geographinnen und Geographen betrachten ein Gebiet bzw. eine Region. • Welche Schlüsselprobleme gibt es? Beispiele: Ressourcenknappheit, Konflikte, Desertifikation, Entwicklungshemmnisse	Geographinnen und Geographen denken nicht monokausal, sondern verbinden verschiedene Aspekte und Sichtweisen. • Wie funktioniert ein Ökosystem? • Welche Faktoren spielen eine Rolle? Beispiele: rezenter Klimawandel, Bevölkerungswachstum, Geopolitik • Welche Interessenlagen gibt es?	Geographinnen und Geographen analysieren Strategien und stellen Chancen und Risiken dar. • Wie wirkt sich ein Katastrophenschutz aus? • Welche Folgen hat die Rodung des tropischen Regenwalds für alle Beteiligten? • Welche Möglichkeiten des Klimaschutzes gibt es?	Geographinnen und Geographen stellen wünschenswerte Entwicklungen dar, z. B. im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung. • Wie wollen wir leben? • Wie verringern wir die Vulnerabilität? • Wie können wir mit dem rezenten Klimawandel umgehen?

M1 Denken und Arbeiten bei einer geographischen Analyse

Entwicklung einer Fragestellung	Recherche und Auswertung	Analyse und Synthese	Präsentation und Diskussion
• ggf. Vermutungen (Hypothesen) aufstellen, z.B. mithilfe von Experimenten (► S. 236/237) • Fragen formulieren mithilfe von geographischen Fachkonzepten (► S. 210/211) • zentrale Begriffe klären • Leitfrage, ggf. Teilfragen entwickeln • Facetten des Themas bestimmen und Thema mit Oberbegriffen strukturieren • Beispielregion bestimmen	• Recherche (► S. 228) • Auswerten von – Diagrammen (► S. 216) – Fachliteratur (► S. 228) – Karten (► S. 214/215) – GIS (S. 227), – Bildern (► S. 220/221) – Modellen (► S. 231) – Statistiken und Strukturdaten (► S. 226)	• sortieren • Relevantes herausarbeiten • Zusammenhänge darstellen • Konzepte, Modelle und Theorien berücksichtigen • Schlussfolgerungen ziehen • bewerten	• mithilfe verschiedener Darstellungsformen und (digitaler) Präsentationstechniken • z.B. Mindmap, Concept Map, Wirkungsgefüge (► S. 225), Blockbilder (► S. 230), Kausalprofil (► S. 229), Modell (► S. 231) • z. B. Plakat, Präsentation (► S. 238/239), Diskussion (► S. 235)

M2 Vorgehen beim Bearbeiten einer geographischen Fragestellung

Beispiel: Warum sollte der tropische Regenwald auf Borneo geschützt werden?

1. Entwickeln einer Fragestellung

Leitfrage oder Hypothese selbst entwickeln (z. B.: Ausweitung der Landwirtschaft auf Borneo, Folgen unseres Konsumverhaltens für Borneo) oder vorgegebene Leitfrage bzw. Hypothese bearbeiten (z. B.: Warum sollte der tropische Regenwald auf Borneo geschützt werden?)

Untersuchungsraum bzw. Beispielregion abgrenzen bzw. inhaltliche Orientierung, z. B. Lage, Klima- und Vegetationszone, Nutzungsmöglichkeiten bzw. Grenzen

Teilfragen entwickeln zu Ursachen, Wechselwirkungen und Auswirkungen natur- und kulturgeographischer Raummerkmale, z. B.
- Wie lassen sich die Naturfaktoren des tropischen Regenwaldes auf Borneo beschreiben?
- Wie beeinflussen sich die Naturfaktoren gegenseitig?
- Wie nutzt der Mensch den tropischen Regenwald?
- Welche Auswirkungen hat diese Nutzung auf die Naturfaktoren und den Menschen?

2. Recherche und Auswertung

Materialien beschaffen, sichten, auswerten, erarbeiten, z. B.
- Thematische Karten:
  Mithilfe von thematischen Karten lassen sich räumliche Zusammenhänge schnell erfassen sowie regionale Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausfinden.
  Beispiele für thematische Karten sind Klima- und Vegetationskarten, geologische Karten, Karten der Bevölkerungsverteilung, Wirtschaftskarten oder Verkehrskarten.
- Satellitenbilder bzw. digitale Karten bzw. GIS:
  Kartendienste kombinieren Fotos mit Geodaten, digitalen Höhenmodellen und Globusdarstellungen. Dadurch wird die Realität verzerrungsfrei abgebildet. Zu den bekanntesten Kartendiensten zählen Google Earth™, OpenStreetMap, Bing Maps™ und der BayernAtlas. Zur Erstellung eigener digitaler Karten bieten sich Diercke WebGIS, ArcGIS oder Spatial Commander an.
- Modelle: Um Zusammenhänge zu verstehen, bietet sich zum Beispiel ein Modell der Ökosysteme an, das das Zusammenspiel der Naturfaktoren abbildet (M3).

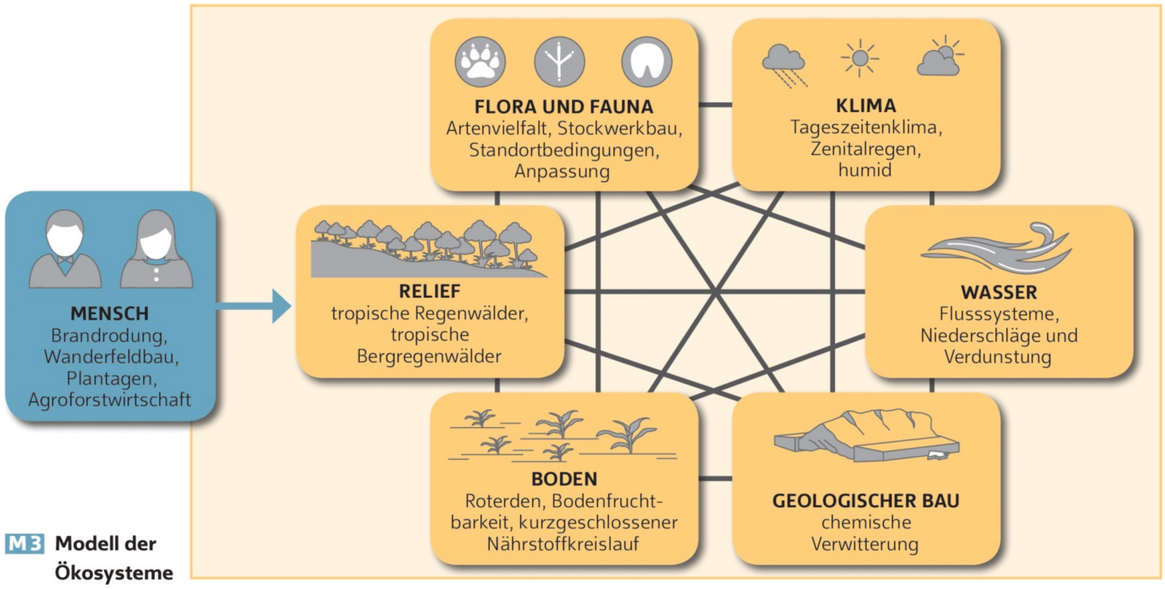
3. Analyse und Synthese

Teilergebnisse zusammenführen und bewerten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Sichtweisen, z. B.
- aus der Sicht der Konsumenten: Günstige Lebensmittel sollen das ganze Jahr verfügbar sein.
- aus der Sicht des Umweltschutzes: Die Ausweitung der Landwirtschaft trägt zur Klimaveränderung bei.

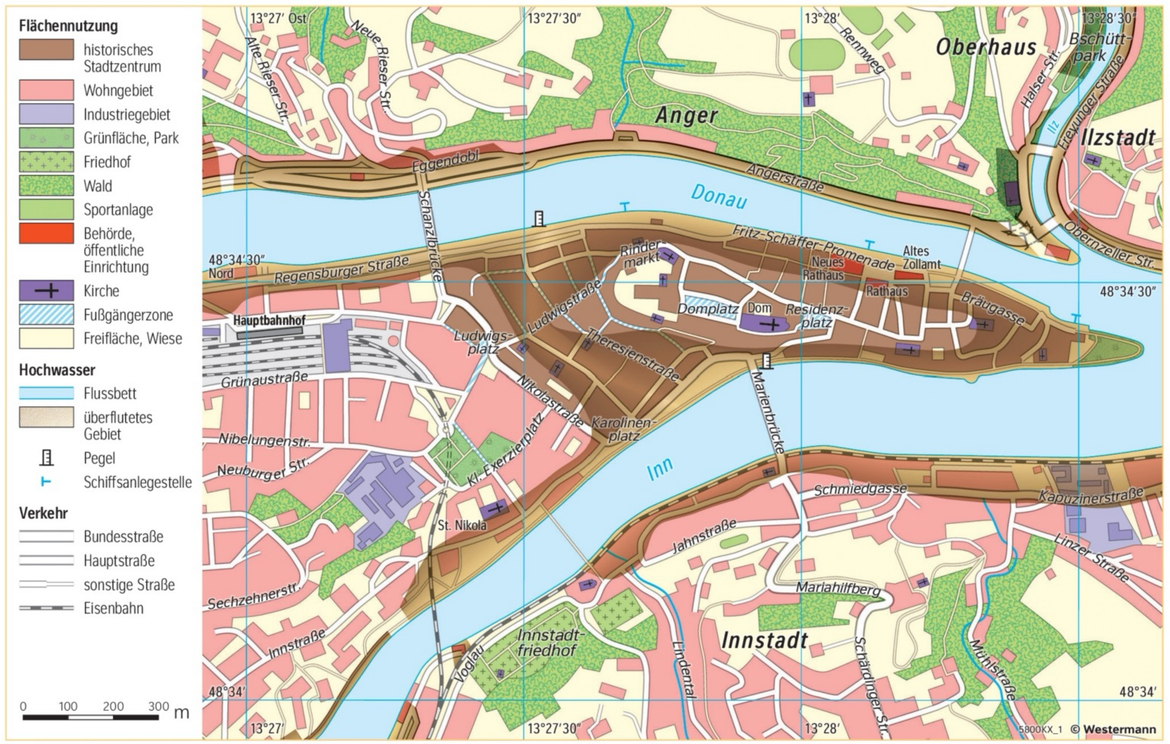
4. Präsentation und Diskussion

Vorstellen der Ergebnisse, zum Beispiel mit digitalen Präsentationsprogrammen,

Diskussion der Ergebnisse im Kurs, zum Beispiel in Form einer Diskussion mit Moderator (► S. 235) oder mithilfe ethischer Fragestellungen (► S. 240)



M3 Modell der Ökosysteme



M1 Komplexe thematische Karte: Hochwasser in Passau 2013 (▸ S. 141: M4)

Komplexe Karten interpretieren

Analoge Karten und Kartogramme

Thematische Karten enthalten oft Gegebenheiten aus Bereichen des Natur-, Wirtschafts-, Sozial- oder Kulturraumes. Grundlage der Karte ist meist eine vereinfachte topographische Basiskarte. Der abgebildete Sachverhalt wird in geeignetem Maßstab räumlich differenziert dargestellt und gilt für einen bestimmten Zeitpunkt oder Zeitraum. Somit haben thematische Karten immer einen Sach-, Raum- und Zeitbezug. Komplexe thematische Karten enthalten mehrere Themenbereiche und verdeutlichen kausale Zusammenhänge.
Beispielsweise können in einer thematischen Karte zum Thema Hochwasser gleichzeitig die überfluteten Gebiete sowie die Flächennutzung und Infrastruktur dargestellt sein, um nicht nur Hinweise auf die Fläche der Überflutung zu geben, sondern auch, welche Nutzung besonders betroffen ist.

Kartogramme sind dabei eine Sonderform, da sie zum Beispiel Säulen- oder Balkendiagramme in eine Karte integrieren, um noch umfangreichere statistische Informationen zum jeweiligen Raum bzw. Raumausschnitt zu liefern.

Komplexe physische Karten finden sich in großer Anzahl im Atlas. Je nach Maßstab sind hier zahlreiche Informationen vereint, zum Beispiel Landhöhen, gegebenenfalls Meerestiefen, Gewässer, Infrastruktur (z. B. Verkehr, Wasserstraßen), Verwaltung, Siedlungen (differenziert nach Einwohnerzahl).

Digitale Karten

Bei digitalen Karten stehen weitere interaktive Möglichkeiten zur Verfügung. So kann häufig durch Zoomen der Maßstab angepasst oder ein Raum genauer unter die Lupe genommen sowie unterschiedliche Informationen ein- bzw. ausgeblendet werden. Zudem findet sich in manchen digitalen Karten eine Möglichkeit, unterschiedliche Zeiträume in der Karte abzubilden. Oft können die Karten digitaler Kartendienste durch sogenannte Plug-ins erweitert werden.
Beispiele für solche digitalen Karten sind unter anderem der BayernAtlas für Betrachtungen innerhalb Bayerns oder der Global Carbon Atlas, der weltweite Treibhausgasemissionen als Kartogramm darstellt. Auch zahlreiche Atlanten sind in digitaler Form verfügbar.

M2 Beispiel für eine komplexe physische Karte: Amazonien und angrenzende Räume

- Lupenmethode: Analysieren Sie die Einzelinhalte über ausgewählte Signaturen.
- Schichtenmethode: Analysieren Sie die Themenfelder über thematische Schichten. Für die Fragestellung unnötige Schichten sind auszublenden.
- Zoommethode: Analysieren Sie ein Fallbeispiel über einen vergrößerten Kartenausschnitt (Detailkarte).
- Fenstermethode: Analysieren Sie einen Raumausschnitt über einen Kartenausschnitt. Das Auflegen eines Blatt Papiers mit einem Fenster hilft.

M3 Strategien zur Reduktion der Komplexität von Karten

Komplexe Karten interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Orientierung
- Die Überschrift (oder Bildunterschrift) benennt das Thema der Karte. Prüfen Sie, ob die Karte die von Ihnen gesuchten Informationen enthält und ob sie somit geeignet ist, Ihre Fragestellung zu beantworten.
- Verorten Sie die Karte, indem Sie feststellen, wo der gezeigte Raum(-ausschnitt) liegt. Beachten Sie auch den Maßstab.
- Betrachten Sie die Legende. Dort finden Sie die Gruppierung der verschiedenen Informationen und wie diese dargestellt sind, zum Beispiel durch Signaturen, Symbole und gegebenenfalls Diagramme (bei Kartogrammen).

2. Beschreibung
- Benennen Sie vorhandene Elemente mithilfe der Legende.
- Beschreiben Sie die Lage und Verteilung der Raumelemente (punktuell, linienhaft, flächenhaft, dicht oder weit verteilt, inselhaft).
- Stellen Sie Beziehungen zwischen den Lageelementen her.
- Arbeiten Sie Strukturen bzw. Regel- oder Unregelmäßigkeiten heraus.
- Behalten Sie dabei im Kopf, welche Informationen Sie benötigen.

3. Interpretation
- Erklären Sie die herausgearbeiteten (Lage-) Beziehungen mithilfe Ihres erworbenen Vorwissens oder mithilfe einer Recherche.
- Beziehen Sie gegebenenfalls weitere Karten, Statistiken, Diagramme und andere Informationen ein.

4. Zusammenfassung und Bewertung
- Fassen Sie die Informationen, die Sie für Ihre aktuelle Recherche bzw. Fragestellung benötigen, knapp zusammen.
- Bewerten Sie, inwiefern die Karte für Ihre Untersuchung hilfreich ist. Hilfreich dazu sind die Fragen nach der Vollständigkeit, Genauigkeit und der Aussagekraft.

Diagramme und Tabellen interpretieren und erstellen

Mit Daten lassen sich konkrete Aussagen treffen beziehungsweise Argumentationen untermauern. Sie helfen, Entwicklungen zu beschreiben oder Anteile genauer zu bestimmen. Eine einzelne Zahl hat jedoch oft wenig Aussagekraft. Dann ist durch das Setzen in Relation zu anderen Werten eine genauere Einordnung möglich.

Diagramme und Tabellen interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Orientierung und Inhaltserfassung
- Überschrift, Bildunterschrift
- Angaben in den Zeilen und Achsen
- Quelle

2. Beschreibung
- Größenverteilung (hohe oder niedrige Werte)
- Veränderungen (Zu- oder Abnahme, Minima und Maxima, Quantifizierung: z. B. „vierfach“)

3. Erläuterung
- Darlegen von Zusammenhängen
- Bezugnahme auf Modelle und Theorien

4. Interpretation und Zusammenfassung
- Einordnung in einen größeren Sachverhalt
- Verwendung geographischer Fach- bzw. Grundbegriffe (▸ Geo-Lexikon ab S. 244)

5. Reflexion
- Beurteilung der Quelle
- Beurteilung der Aktualität der Daten
- Aussagekraft der Daten
- Beeinflussung der Wahrnehmung durch die Darstellung (M5)?

- absolute Werte: Angabe einer Anzahl
- relative Werte: geben einen Anteil oder ein Verhältnis an (absolute Häufigkeit geteilt durch Anzahl der Elemente mit einer bestimmten Eigenschaft); Beispiel: Prozentwerte
- Indexwerte: Kennziffern, die sich aus Einzelwerten in Bezug auf eine bestimmte Basisgröße zusammensetzen; manchmal werden einzelne Werte gewichtet

M1 Unterschiedliche Werte

Tabellen
In Tabellen können Mengen und Entwicklungen sehr genau dargestellt werden. Sie dienen zum Beispiel auch als Basis zur Erstellung von Diagrammen.

Tabellenkopf	
Spalte	Zeile

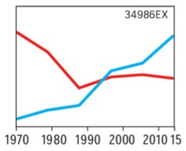
Diagramme
Diagramme setzen die Werte von Tabellen graphisch um und machen sie damit anschaulicher und leichter fassbar. Vor allem Trends lassen sich hier besser ablesen, besonders da durch graphische Mittel und die Wahl bestimmter Diagrammtypen (z. B. Kreis-, Balken-, Säulen-, Kurvendiagramme) inhaltliche Betonungen möglich sind. Durch die Aufbereitung wird auch die Vergleichbarkeit erhöht (zum Beispiel beim Klimadiagramm).

a) Kreisdiagramm

gut geeignet:
- zur Darstellung der Aufteilung einer Gesamtmenge in Teilmengen (Kreis entspricht 100 %, 1 % entspricht 3,6°),
- zum Vergleich der absoluten Größe verschiedener Gesamtmengen (unterschiedliche Kreisgrößen)

Hinweise:
- Werden in einer Darstellung mehrere Kreisdiagramme verwendet, so benutzt man meist die Kreisfläche, um Größen auszudrücken (nicht den Durchmesser).
- Start der Kreissektoren ist nicht immer „12 Uhr“.

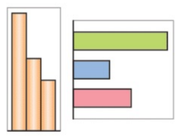
b) Kurvendiagramm (Liniendiagramm)



gut geeignet:
- zur Darstellung von Zeitreihen und Entwicklungen,
- zum Vergleich verschiedener Zeitreihen und Entwicklungen

Hinweise:
- Durch Stauchung bzw. Zerrung der x-Achse oder der y-Achse können zum Beispiel Tendenzen übertrieben dargestellt beziehungsweise suggeriert werden (M5).
- Der Maßstab bei der x-Achse oder der y-Achse wird manchmal zur Verdeutlichung logarithmisch gewählt.
- Komplexe Kurvendiagramme können unterschiedliche y-Achsen enthalten.

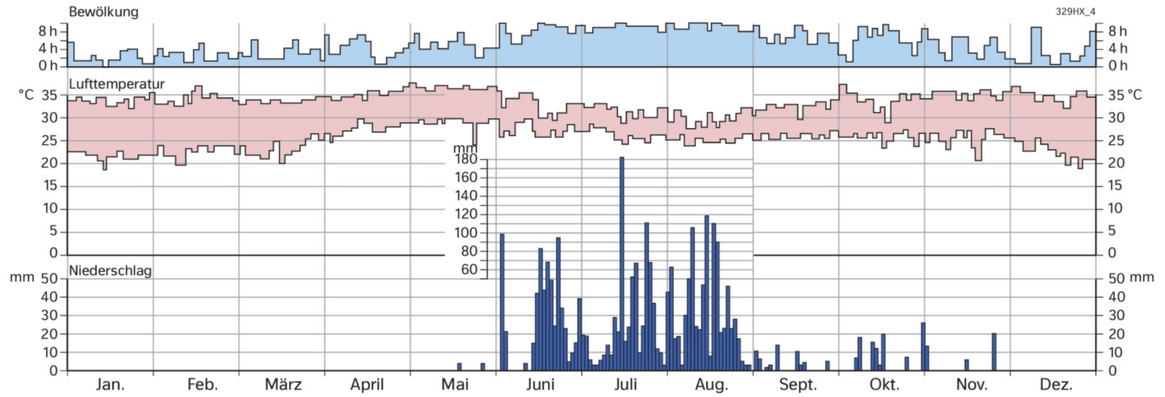
c) Säulen- und Balkendiagramm



gut geeignet:
- zur anschaulichen Darstellung statistischer Größen in zeitlicher, räumlicher, sachlicher Folge

Hinweise:
- In vielen Darstellungen beginnt die Skala nicht bei null. Die Werte werden dadurch auf den ersten Blick verfälscht (M5).
- Die Säulen bzw. Balken können in sich noch einmal unterteilt werden, um Teilgrößen zu verdeutlichen. Auch negative Werte können gut dargestellt werden.
- Durch unterschiedliche Balken- bzw. Säulendicke kann eine weitere Größe angegeben werden.

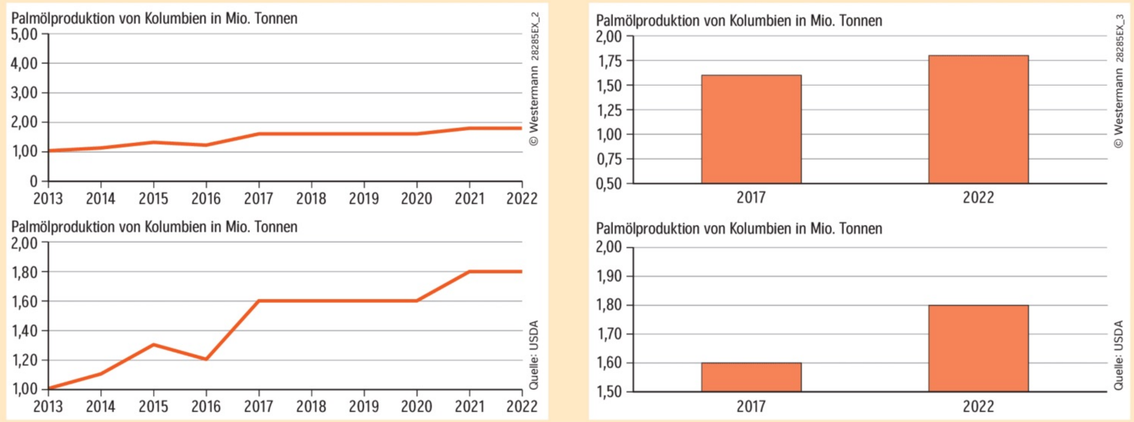
M2 Tabellen und Diagrammtypen



M3 Komplexes Diagramm: typischer Wetterablauf des indischen Monsunklimas im Bundesstaat Goa (Westküste) (▸ S. 29)

- Ein Diagramm sollte sauber gezeichnet sein und neben einer Legende alle nötigen Beschriftungen enthalten: Überschrift mit der Angabe des Themas, Beschriftung der Achsen mit einer Skala, inhaltliche Beschriftung der Achsen.
- Bei der Erstellung – wie auch bei der Auswertung – sollte bewusst sein, dass alle Visualisierungen beeinflussen. Sachverhalte können hervorgehoben, verzerrt dargestellt oder verschleiert werden, je nachdem, wie die Skalen gestaltet wurden (M5).
- Die Farbwahl sollte der dargestellten Thematik angemessen sein: Verwenden Sie nach Möglichkeit „sprechende Farben“ (zum Beispiel Blau für Wasser oder Kälte, Grün für Landwirtschaft beziehungsweise Vegetation).

M4 Hinweise zur Erstellung von Diagrammen



Bei der Umsetzung von Zahlen in Diagramme können Sachverhalte durch optische Täuschung verzerrt werden, zum Beispiel wenn

I) bei Kurvendiagrammen
- die y-Achse nicht mit 0 beginnt,
- die y-Achse gestreckt oder gestaucht wird,
- die x-Achse gestreckt oder gestaucht wird,
- unerwünschte Zwischenwerte weggelassen werden.

II) bei Säulendiagrammen die unteren Säulenabschnitte gestreckt, gestaucht oder sogar ganz weggelassen werden.

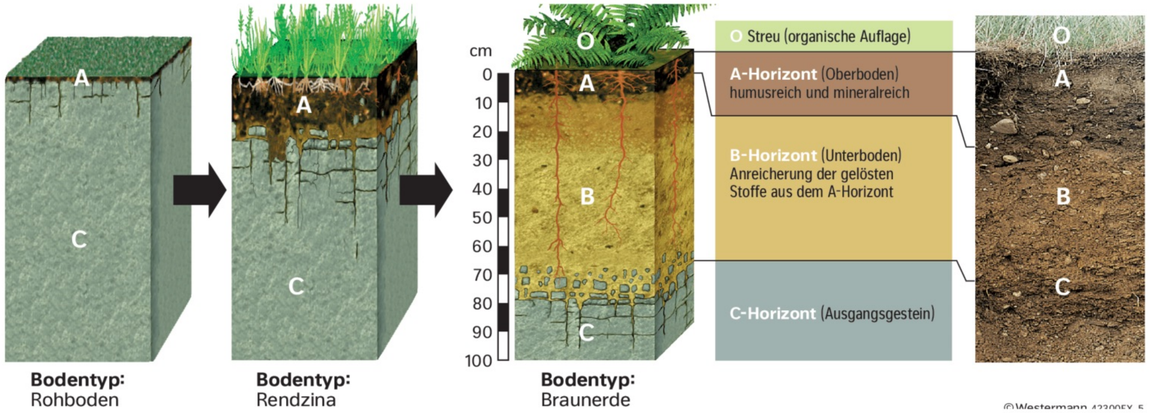
Achten Sie immer auf die Angabe der Quellen. Sind diese vertrauenswürdig (z. B. von wissenschaftlichen Seiten) oder fehlen sie ganz?

M5 Möglichkeiten der Manipulation bei Säulen- und Kurvendiagrammen

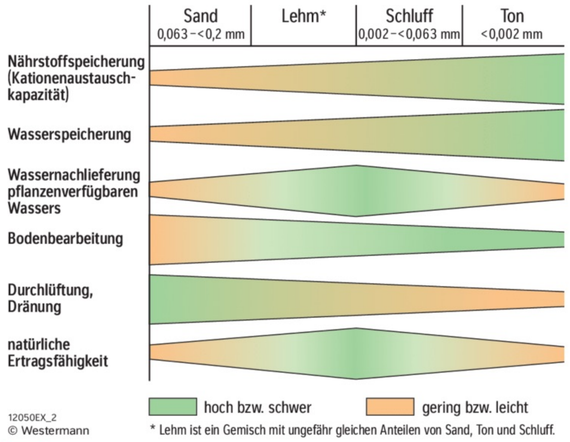
E↑ Bodenprofile interpretieren

Böden bilden die Grundlage für eine Besiedelung, da auf Böden Lebensmittel wachsen oder produziert werden können. Ein Boden ist ein komplexes Gebilde aus Mineralien des verwitternden Ausgangsgesteins sowie aus lebendem und totem, sich zersetzendem Material, das als organische Substanz den Humus bildet. An der Bodenbildung sind Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen beteiligt.
Im Boden finden chemische und physikalische Umsetzungsprozesse statt, die jährlich etwa 100 Milliarden Tonnen Biomasse „recyceln" (▶S. 61: M3). In sehr langen Prozessen haben sich Bodenaufbau und Bodenleben in Abhängigkeit von Ausgangsgestein, Klima, Relief, Bodenwasser, Vegetation und menschlichem Einfluss zu differenzierten und standortbezogenen Systemen entwickelt, in denen die einzelnen Komponenten zusammenwirken.

Der Aufbau eines Bodens wird grundsätzlich in Bodenhorizonten beschrieben (M1). Die Abfolge der Bodenhorizonte bildet das **Bodenprofil**. Charakteristische Erscheinungen von Bodenprofilen werden als Bodentypen zusammengefasst. Mit einer Bodenanalyse können Möglichkeiten und Grenzen zum Beispiel für eine landwirtschaftliche Nutzung eingeschätzt werden.
Mit der **Bodenart** (M2) wird angegeben, ob ein Boden eher sandig, schluffig oder tonig ist (Korngröße). Die Korngröße beeinflusst bodenspezifische Eigenschaften wie Wasserhaushalt und Wasserspeicherung, Erosionsanfälligkeit oder Nährstoffhaushalt bzw. Kationenaustauschkapazität. In der Summe entscheiden alle diese Eigenschaften über die Bodenfruchtbarkeit (M3). Für die Landwirtschaft ist die Bearbeitbarkeit einzelner Böden zudem von Bedeutung.



M1 Entwicklung von Bodenhorizonten in den Mittelbreiten



M2 Einfluss der Bodenart auf Bodeneigenschaften

Bodenprofile interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Beschreibung
- Nennen Sie – soweit angegeben – den Ort und das Land des Bodenprofils.
- Beschreiben Sie das Profil: Farbe, Abgrenzung und Mächtigkeit der einzelnen Horizonte, Nennung der Bodenhorizonte, besondere Auffälligkeiten

2. Erklärung
- Erklären Sie die Entstehung des Bodens aufgrund der klimatischen Bedingungen bzw. aufgrund des Reliefs.
- Erläutern Sie die Verlagerungs- und Umbauprozesse.

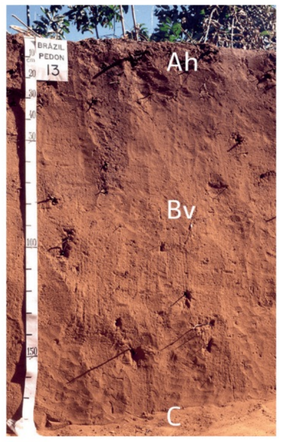
3. Interpretation
- Schließen Sie aus den Informationen auf die Bodenfruchtbarkeit.
- Erörtern Sie Möglichkeiten und Grenzen einer landwirtschaftlichen Nutzung.

Die Bodenfruchtbarkeit ist die Fähigkeit eines Bodens, Pflanzen Nährstoffe zur Verfügung zu stellen. Wenn der Boden dünn ist, können diese Nährstoffe direkt aus der Gesteinsschicht unter dem Boden kommen, dem Ausgangsgestein. Wenn der Boden zersetzt wird (verwittert), können die freigesetzten Mineralien direkt von den Pflanzen genutzt werden. Darüber hinaus ist für die Bodenfruchtbarkeit entscheidend, wie gut der Boden Nährstoffe binden, vor Auswaschung schützen und bei Bedarf wieder abgeben kann. Diese Fähigkeit wird durch die Kationenaustauschkapazität (KAK) bestimmt. Ein guter Boden mit einer hohen KAK ist wie ein Schwamm, der die Kationen an sich bindet, sie damit vor Auswaschung schützt und erst dann wieder abgibt, wenn die Pflanze sie braucht.
Bei der Verwitterung des Ausgangsgesteins entstehen nicht nur Minerale, die die Pflanze direkt als Nährstoffe nutzen kann, sondern es werden auch neue Minerale, sogenannte Tonminerale, gebildet. Sie können besonders gut Wasser und mineralische und organische Nährstoffe binden (adsorbieren) und damit die KAK des Bodens erhöhen. Die Tonminerale werden nach ihrem Aufbau in Zwei-, Drei- und Vierschichttonminerale unterteilt. Drei- und Vierschichtminerale können nicht nur an ihrer Außenseite, sondern auch zwischen den Schichten Kationen und Wasser anlagern und sind so für die Bodenfruchtbarkeit wertvoller als Zweischichttonminerale. Drei- und Vierschichttonmierale kommen häufig in Böden der Mittelbreiten vor, Zweischichttonminerale sind typisch für Böden der Tropen.
Ein anderer, für die Bodenfruchtbarkeit wichtiger Bestandteil des Bodens ist Humus. Als Humus bezeichnet man die abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Bestandteile des Bodens. Die organischen Bestandteile des Bodens werden ähnlich wie die Gesteinsmaterialien umgebaut. Sie können direkt von den Pflanzen als Nährstoffe genutzt werden. Außerdem entstehen aus Humus Huminstoffe. Diese haben ähnliche Eigenschaften wie Tonminerale. Sie haben eine sehr große innere Oberfläche und können Pflanzennährstoffe binden und bei Bedarf wieder abgeben. Ein hoher Humusgehalt erhöht also die KAK. Darüber hinaus können Huminstoffe Wasser speichern.

M3 Bodenfruchtbarkeit

Die **Ferralitisierung** umfasst zum einen die starke Abnahme des Siliziumgehaltes der Böden (Desilifizierung). Zum anderen reichern sich Eisen- (lat.: ferrum) und Aluminiumoxide neben Zweischichttonmineralen wie Kaolinit als stabile Verwitterungsprodukte im Unterboden (B-Horizont) an. Voraussetzung sind feuchte Klimate, in denen intensive Verwitterungsprozesse und abwärtsgerichtete Bodenwasserströme vorherrschen. Dies führt zur Bildung des Bodentyps Latosol, der auch als Ferralsol oder Roterde bezeichnet wird. Diese Böden sind in der Äquatorregion weltweit vorherrschend (▶S. 60/61).

M4 Ferralitisierung in Böden der Tropen



Ah
Auflage mit herabgefallenen Blättern, Ästen, sehr dünner humoser Oberboden
(h: Humus)

Bv
mehrere Meter mächtiger, rotgefärbter Unterboden, der reich an Eisen- und Aluminium ist (v: verwittert)

C
tiefliegendes Ausgangsgestein

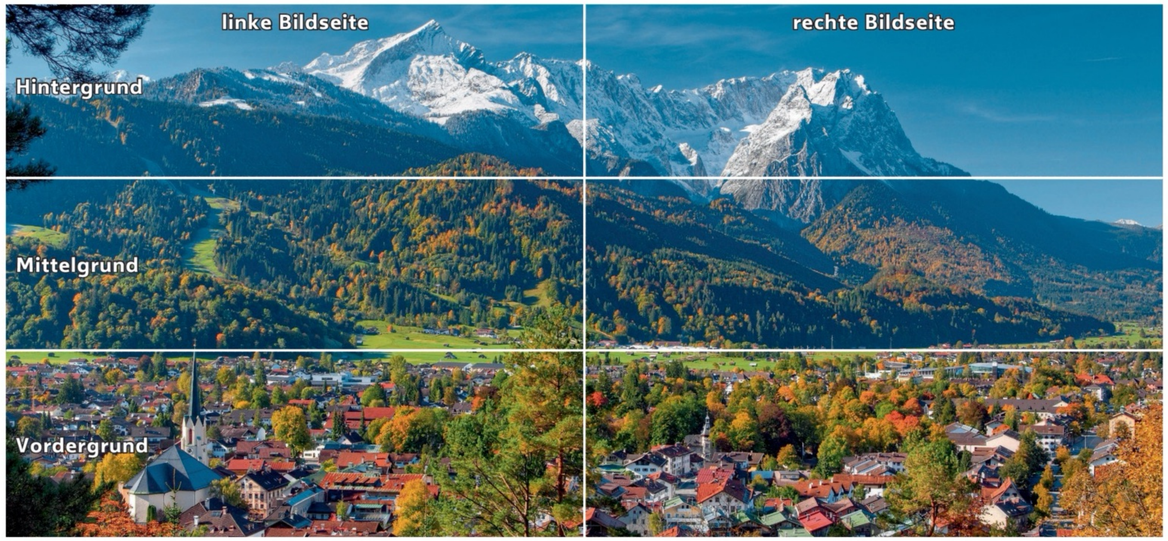
M5 Latosol – typischer Boden der Tropen (▶S. 61: M4)

1. Das Bodenprofil stammt aus Brasilien (Beschriftung im Bild) und zeigt einen typischen Latosol, wie er in den regenreichen und beständig warmen Inneren Tropen vorkommt: ein nur wenige Zentimeter mächtiger Ah-Horizont, gefolgt von einem rot bis braun gefärbten, ca. 180 cm mächtigen Bv-Horizont, der über dem Ausgangsgestein liegt (C-Horizont).

2. Hohe Bodentemperaturen und eine konstante Bodenfeuchte ermöglichen die intensive chemische Verwitterung. Ein stetiger Sickerwasserstrom sorgt für die nahezu vollständige Auswaschung der gelösten Bestandteile (v. a. Silizium) sowie der wenigen Mineral- bzw. Nährstoffe. Im Bv-Horizont kommt es zur Anreicherung der schwerer auswaschbaren Eisen- und Aluminiumoxide (Ferralitisierung), was je nach Zusammensetzung zu einer rötlichen bis gelblichen Bodenfärbung führt.

3. Wie alle Latosole ist dieser Boden weitgehend unfruchtbar. Durch die intensive Verwitterung entstehen Zweischichttonminerale wie Kaolinit. Diese bedingen aufgrund der geringen Kationenaustauschkapazität die geringe Bodenfruchtbarkeit. Die reichlich vorhandene organische Substanz im dichten tropischen Regenwald wird schnell zersetzt. Die dabei anfallenden Pflanzennährstoffe (Mineralsalze) werden im natürlichen und ungestörten Mineralsalzkreislauf nahezu vollständig über Wurzelpilze, die Mykorrhiza (▶S. 60: M1), den Pflanzen zugeführt. Nachhaltige ackerbauliche Nutzung ist daher auf den tropischen Latosolen nur begrenzt und nur im Rahmen von Brandrodungswirtschaft (Wanderfeldbau) oder Landwechselwirtschaft möglich. Durch Brandrodung werden dem Boden kurzfristig Nährstoffe zugeführt, die die Nutzung für einige Jahre ermöglichen. Danach sind die Böden vorerst ausgelaugt, da ihnen keine organische Substanz mehr nachgeführt wird und die Böden selbst wenig mineralische Nährstoffe besitzen. Wichtig sind daher Brachezeiten. Bei fehlender Vegetationsbedeckung durch Rodung werden lockere Bodenbestandteile oft erodiert. Es entstehen harte Bodenkrusten.

M6 Interpretation des Profils M5



M1 Garmisch-Partenkirchen mit Alpspitze und Zugspitze (Aufnahmejahr: 2016) (▸ S. 154/155)

Bilder interpretieren

Bilder veranschaulichen nicht nur die Situation vor Ort. Die Auswertung kann der Analyse und Interpretation von Nutzungsstrukturen dienen. Bilder könnnen auch bei der Klärung bestimmter Fragen helfen, wie zum Beispiel: Wie gefährdet sind Räume bzw. wie vulnerabel sind sie? Welche Schutzmaßnahmen sind nötig (z. B. vor dem Hintergrund endogener und exogener Prozesse)?

- Zur Beschreibung der Strukturen:
  Unterscheiden Sie natürliche und anthropogene Strukturen.
- Zur Erklärung:
  Verwenden Sie Ihr Vorwissen zum Naturraum (z. B. Klimazonen, Vegetationszonen, Höhenstufen) und zur Erschließung des Raums.
- Zur Beurteilung und Interpretation:
  Finden Sie einen Standpunkt zur Beurteilung, z. B. Nachhaltigkeit. Denken Sie bei der Einordnung in größere Zusammenhänge an Prozesse wie die Globalisierung und den rezenten Klimawandel.
- Zur Reflexion:
  Arbeiten Sie mit Atlaskarten und einer Onlinebildersuche. Versuchen Sie, mithilfe von Texten auch gegenläufige Entwicklungen (z. B. Umweltschutz) einzubeziehen.

M2 Hinweise zur Auswertung des Beispiels M1

Luft- und Satellitenbilder interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Orientierung
- Bestimmung des Bildgegenstands mithilfe des Bildtitels
- Verortung im Atlas und Bestimmung der Lage
- Bestimmung des Aufnahmezeitpunkts

2. Beschreibung
- Einteilung in Raumeinheiten (z. B. linke bzw. rechte Seite)
- Erfassen von Einzelheiten, Strukturen und ggf. deutlich werdenden Prozessen
- Beschreibung von links nach rechts oder vom Vorder- zum Hintergrund
- gegebenenfalls Anfertigung einer Bildskizze

3. Erklärungen und Interpretation
- Formulierung von Zusammenhängen unter Einbeziehung des Vorwissens
- Bezugnahme auf Modelle und Theorien

4. Beurteilung und Zusammenfassung
- Formulieren einer Kernaussage
- Einordnung in einen größeren Sachverhalt (z. B. Tourismus), evtl. sogar in globale Zusammenhänge
- Verwendung geographischer Fach- bzw. Grundbegriffe (▸ Geo-Lexikon ab S. 244)

5. Reflexion
- Bewertung der Aussagekraft des Bildes
- Einfluss der Wahl des Bildausschnitts bzw. der Perspektive
- Beeinflussung der Raumwahrnehmung (▸ S. 210: M2)

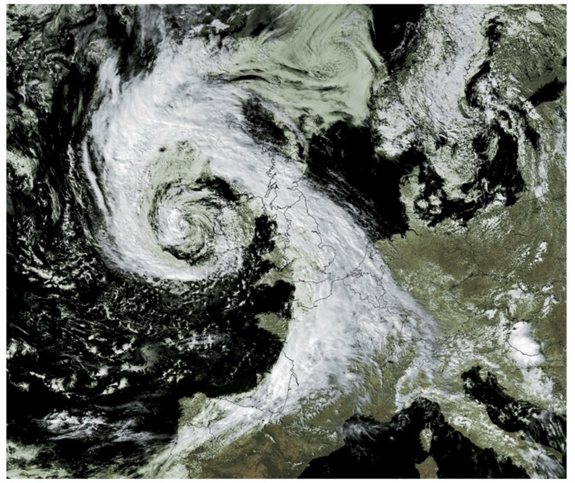
M3 Satellitenbild der Erde (▸ S. 26: M1)

- Zur Orientierung:
  Benennen oder ermitteln Sie zunächst die jahreszeitliche Situation.
- Zur Beschreibung:
  Stellen Sie erkennbare Strukturen dar und arbeiten Sie Unterschiede heraus.
- Zur Erklärung:
  Arbeiten Sie mit dem Modell der atmosphärischen Zirkulation auf der Basis der Sonneneinstrahlung auf die Erde.
- Interpretation:
  Stellen Sie die Bedeutung der Zirkulation für den Luftmassenaustausch in der Frontal- bzw. Westwindzone heraus: Tropische Luftmassen treffen auf polare und werden verwirbelt.
- Zur Reflexion:
  In der Realität sieht man keine durchgehende bzw. gerade Linie der ITC.

M5 Hinweise zur Auswertung und Interpretation von M3

Satellitenbilder interpretieren

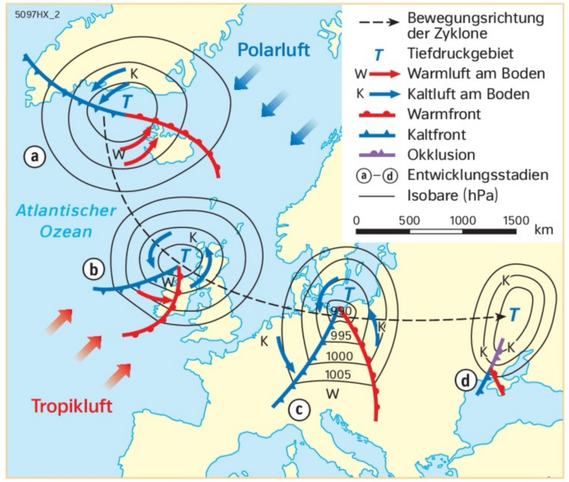
Mit Satellitenbildern lassen sich u. a. Zustände und Prozesse der atmosphärischen Zirkulation beschreiben. Bei der Interpretation ist ein wesentlicher Aspekt deren Bedeutung für den Energieaustausch in der Atmosphäre. Die atmosphärischen Zellen sind indirekt an Wolkenbändern erkennbar (M3). Auch das zyklonale Geschehen der Mittleren Breiten (M4), in der die Verwirbelung von Tropik- und Polarluft stattfindet, lässt sich auf Satellitenbildern meist gut erkennen und vor dem Hintergrund des Modells der Zyklonenbildung erläutern (M7).



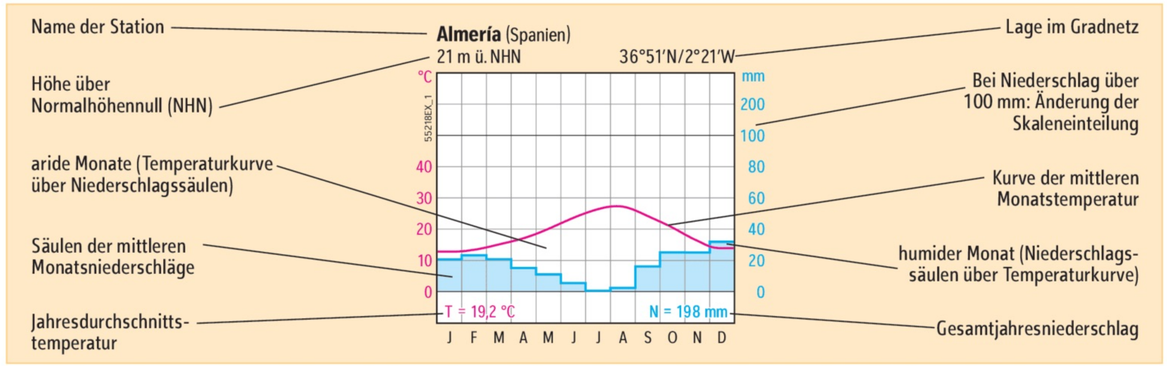
M4 Satellitenbild von Europa (19.08.2016, 12 Uhr MESZ, ▸ S. 120: M1)

An der Warmfront wird leichtere Warmluft über die schwere Kaltluft gehoben. Mit dem langsamen Aufgleiten der Warmluft ist eine charakteristische Wolken- und Niederschlagsbildung verbunden: An der Kaltfront stößt kalte Luft gegen die vorgelagerte warme Luft. Die schwere Kaltluft bricht regelrecht in den Warmluftsektor ein und verdrängt diesen nach oben (westlich von Frankreich). Die rasch aufsteigende Warmluft kühlt sich schnell ab und bildet hoch reichende Konvektions- oder Haufenwolken (Cumulus).

M6 Interpretation von M4



M7 Modell der Zyklonenbildung



M1 **Klimadiagramm von Almería in Spanien (nach Walter-Lieth)**

Klimadiagramme interpretieren

Klimadiagramme ermöglichen es, den Jahresgang von Temperatur und Niederschlag übersichtlich darzustellen. Dabei werden Niederschlags- und Temperaturskala im Verhältnis 2:1 dargestellt (nach Walter-Lieth, M1). Dies bringt annähernd die Abhängigkeit der für das Pflanzenwachstum nötigen Niederschlagsmenge von der jeweiligen Temperatur zum Ausdruck. Liegt die Temperaturkurve über der Niederschlagskurve, dann kann man vereinfacht von ariden Verhältnissen ausgehen, liegt sie darunter, so handelt es sich um eher humide Bedingungen. Diese Regel gilt jedoch meist nur für die Mittelbreiten und ggf. die Subtropen. Denn bei hohen Niederschlägen und gleichzeitig hoher Verdunstung bleibt nur wenig Wasser für die Vegetation übrig. Exakter werden ein Zeitraum oder eine Region daher als arid bzw. humid bezeichnet, wenn die mögliche (potenzielle) Verdunstung größer bzw. kleiner ist als der Niederschlag.

Räumliche Zuordnung

Vor dem Hintergrundwissen über Beleuchtungszonen (M4, ▸ S. 15: M4) kann die Lage eines räumlich nicht zugeordneten Diagramms bestimmt werden. Der erste Blick sollte hierbei auf die Temperaturkurve fallen. Bei einem Maximum im Sommer einer der beiden Hemisphären ergibt sich die eindeutige Zuordnung zu Nord- bzw. Südhalbkugel. Ist der Temperaturverlauf jedoch über das Jahr relativ ausgeglichen, so liegt die Station in den Tropen und die genauere Lage muss mithilfe der Niederschläge (Regenzeiten) untersucht werden. Über die Jahresdurchschnittstemperatur erfolgt danach eine Einordnung in definierte Klimazonen (▸ S. 18/19). Allerdings ist zu beachten, dass auch Stationen im Hochgebirge niedrige Werte aufweisen können (▸ S. 164/165). Erst dann werden die Jahresgänge von Temperatur und Niederschlag betrachtet. Durch den Vergleich mit typischen Verläufen (M2, M3) kann man dann die Lage der Klimastation eingrenzen.

Klimadiagramme interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Beschreibung und Auswertung

a) Lage der Klimastation beschreiben
Name, Lage im Gradnetz, Höhenlage, regionale Besonderheiten: Luv- oder Leelage, Küstennähe oder Kontinentallage, Nähe zu Meeresströmungen, Tal-, Hang- oder Berglage, ggf. Großlandschaft (Atlas)

b) Temperaturverhältnisse charakterisieren
Jahresdurchschnittstemperatur, Maximum bzw. Minimum der Temperatur (Wert, Monat), Temperaturamplitude (Maximum minus Minimum der Temperatur), Besonderheiten im jahreszeitlichen Verlauf

c) Niederschlagsverhältnisse charakterisieren
Gesamtjahresniederschlag, Maximum bzw. Minimum der Niederschläge, Regen- oder Trockenzeiten

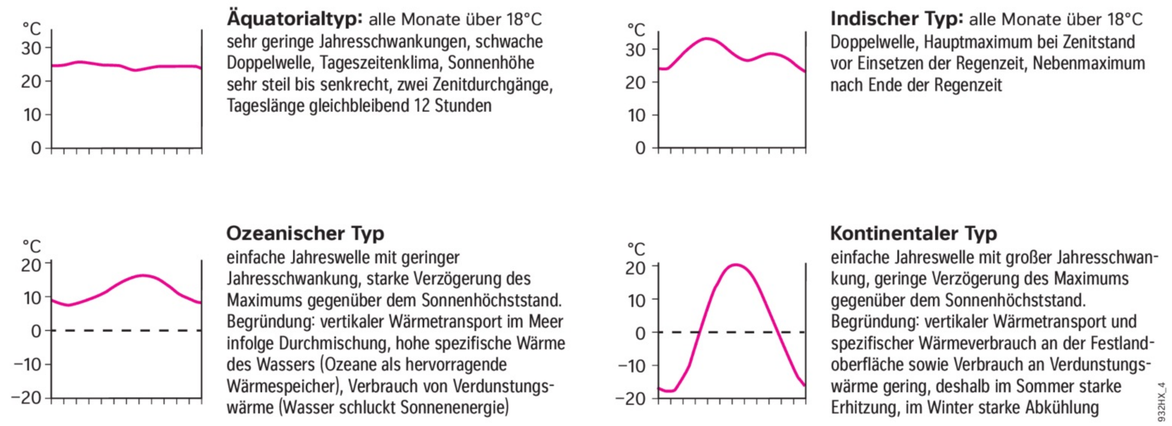
d) Feuchtigkeitsverhältnisse beschreiben
Anzahl und Verteilung der humiden bzw. ariden Monate

2. Interpretation

a) Bestimmung Klimatyp
Bestimmung des Klimatyps (Kontinentalität bzw. Maritimität) anhand der Temperatur- und Niederschlagsamplitude)

b) Zuordnung Klimazone
Einordnung in eine Klimazone, u.a. auf Basis des Temperaturverlaufs und der Aridität bzw. Humidität; Erklärung mit der Strahlungsbilanz je nach Lage im Gradnetz sowie die Anzahl von Regenzeiten durch den Zenitstand der Sonne (▸ S. 15: M6)

c) Zusammenhänge und Auswirkungen erkennen
Begründung der klimatischen Gegebenheiten (regionale Besonderheiten, siehe 1.a), Auswirkungen auf Böden, Vegetationsart, Vegetationsperiode, Abflussverhältnisse, landwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten



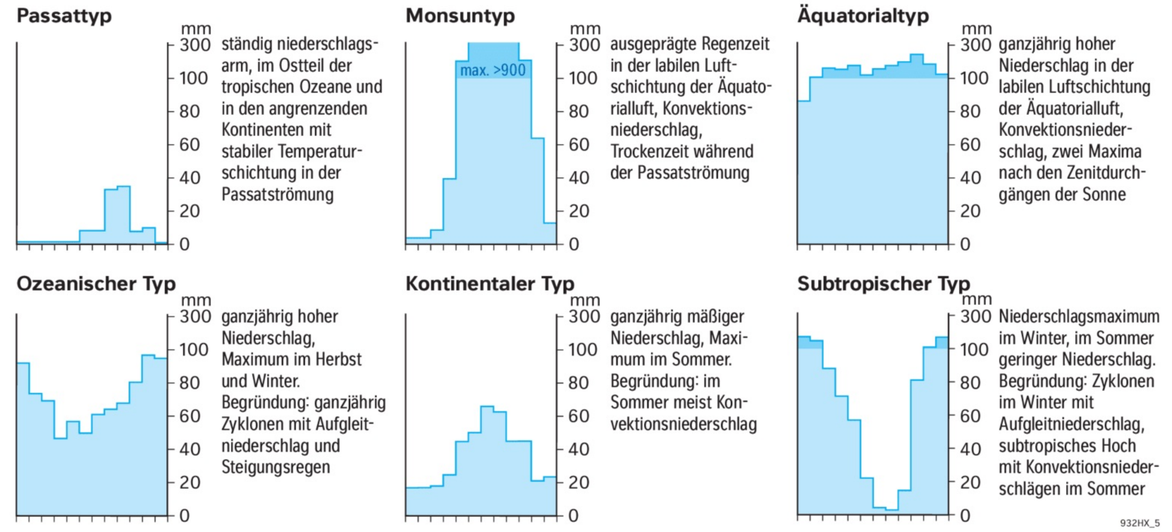
Äquatorialtyp: alle Monate über 18°C
sehr geringe Jahresschwankungen, schwache Doppelwelle, Tageszeitenklima, Sonnenhöhe sehr steil bis senkrecht, zwei Zenitdurchgänge, Tageslänge gleichbleibend 12 Stunden

Indischer Typ: alle Monate über 18°C
Doppelwelle, Hauptmaximum bei Zenitstand vor Einsetzen der Regenzeit, Nebenmaximum nach Ende der Regenzeit

Ozeanischer Typ
einfache Jahreswelle mit geringer Jahresschwankung, starke Verzögerung des Maximums gegenüber dem Sonnenhöchststand. Begründung: vertikaler Wärmetransport im Meer infolge Durchmischung, hohe spezifische Wärme des Wassers (Ozeane als hervorragende Wärmespeicher), Verbrauch von Verdunstungswärme (Wasser schluckt Sonnenenergie)

Kontinentaler Typ
einfache Jahreswelle mit großer Jahresschwankung, geringe Verzögerung des Maximums gegenüber dem Sonnenhöchststand. Begründung: vertikaler Wärmetransport und spezifischer Wärmeverbrauch an der Festlandoberfläche sowie Verbrauch an Verdunstungswärme gering, deshalb im Sommer starke Erhitzung, im Winter starke Abkühlung

M2 **Typen des Jahresgangs der durchschnittlichen Lufttemperatur**



M3 **Typen des Jahresgangs der durchschnittlichen Niederschlagsmenge**

Beleuchtungszone, Abgrenzungen	Besonderheiten
Tropen	Sonne zweimal jährlich im Zenit, ganzjährig hohe Einstrahlung, relativ gleiche Tageslängen
Wendekreise	23,5° nördlicher bzw. südlicher Breite
Mittelbreiten	jahreszeitliche Unterschiede der Energieeinstrahlung zwischen Sommer und Winter
Polarkreise	66,5° nördlicher bzw. südlicher Breite
Polarzonen	extreme jahreszeitliche Unterschiede mit extremen Schwankungen der Tageslängen, Polarnacht und Polartag

M4 **Beleuchtungszonen der Erde und ihre Eigenschaften**

Alle Temperatur- und Niederschlagswerte werden als 30-jährige Durchschnittswerte dargestellt. Um international eine Vergleichbarkeit herstellen zu können, hat die Weltorganisation für Meteorologie (*World Meteorological Organization, WMO*) sogenannte Klimanormalperioden festgelegt, zum Beispiel 1931 – 1960, 1961 – 1990 oder 1991 – 2020. Aus statistischen Gründen sind auch andere Klimanormalperioden im Umlauf, insbesondere von nationalen Wetterdiensten.
Die Klimadiagramme in diesem Buch beruhen ausnahmslos auf den Daten der neuen WMO-Klimanormalperiode des Zeitraums 1991 – 2020.

M5 **Bezugszeitraum für Klimadaten**

Lesebeispiel:

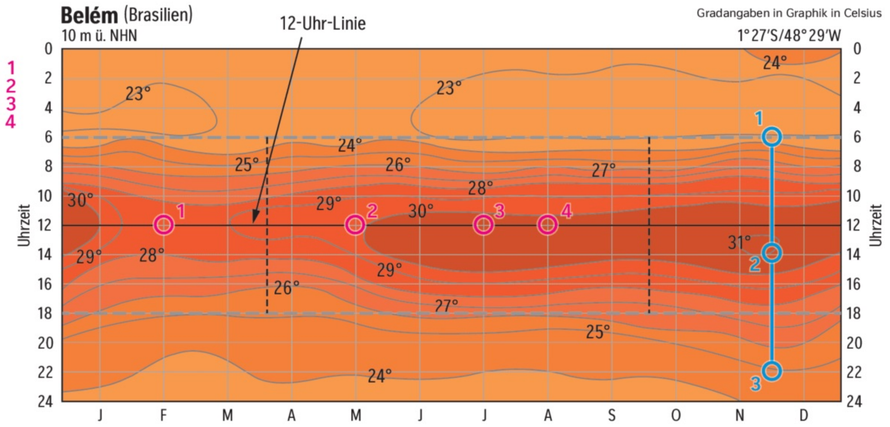
1. 12:00 Uhr-Zeit:
   Am 1. Februar hat es um 12:00: 28 °C 1
   Am 1. Mai um 12:00: 29 °C 2
   Am 1. Juli um 12:00: 30 °C 3
   Am 1. August um 12:00: 30 °C 4

Es herrscht also über das Jahr hinweg um 12:00 Uhr fast immer die gleiche Temperatur.

2. Tagesverlauf im November:
   um 06:00 hat es 23 °C 1
   um 14:00 hat es 31 °C 2
   um 22:00 hat es 25 °C 3

Die Temperaturamplitude eines durchschnittlichen Novembertages beträgt 8 °C (23 °C bis 31 °C).

------ Zenitstand um die Mittagszeit
– – – – Sonnenauf-/-untergang



© Westermann 30977EX

M1 Lesebeispiel für ein Thermoisoplethendiagramm

Thermoisoplethendiagramme interpretieren

Thermoisoplethen sind Linien, die gleiche Werte der Messgröße Temperatur verbinden. Thermoisoplethendiagramme stellen somit den Jahres- und den Tagesgang der Temperatur an einem Ort dar. Jeweils gleiche Werte sind durch Linien miteinander verbunden (vergleichbar mit Höhenlinien in einer topographischen Karte). In der Senkrechten lässt sich der Tagesgang an einem bestimmten Tag im Jahr ablesen, in der Waagerechten der Jahresgang zu einer bestimmten Uhrzeit.

Zur Verdeutlichung der jeweiligen Temperaturverhältnisse und zur besseren Lesbarkeit sind die Thermoisoplethendiagramme meist farbig unterlegt (M1, M2). Neben der geographischen Position der jeweiligen Station enthalten diese Diagramme manchmal auch noch weitere Angaben, zum Beispiel zum Zeitpunkt des Zenitstandes oder zu Sonnenaufgang bzw. -untergang oder zum Beginn beziehungsweise Ende der Polarnacht.

Die 1943 vom Geographen Carl Troll entwickelte Diagrammart eignet sich damit besonders gut zur Veranschaulichung von sogenannten Tageszeiten- und Jahreszeitenklimaten. Verlaufen die Isolinien weitgehend parallel zur Monatsachse, sind die jahreszeitlichen Temperaturunterschiede viel geringer als die tageszeitlichen. Dies kennzeichnet ein Tageszeitenklima (M1).

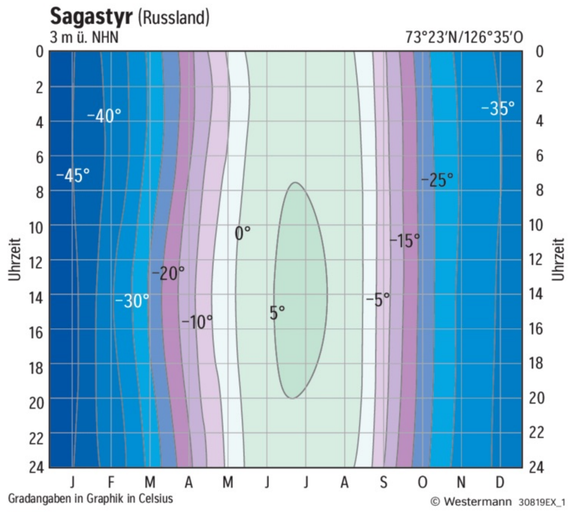
Thermoisoplethendiagramme interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Lagebeschreibung
- Ort, Lage im Gradnetz, Höhe über NHN

2. Beschreibung des Diagramms
- Verlauf der Isoplethen (z. B. parallel zur Tages- oder Jahresachse)
- Temperaturamplitude im Jahres- bzw. Tagesverlauf
- Wärmster bzw. kältester Monat
- Ggf. Dauer Polartag bzw. Polarnacht

3. Einordnung
- Tageszeiten- oder Jahreszeitenklima

4. Erklärung und Interpretation
- Ursachen für Klima erklären: Strahlungsbilanz, Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, Lage auf der Erdkugel, Höhenlage
- Rückschlüsse auf Bedingungen für Vegetation und Landwirtschaft ziehen



© Westermann 30819EX_1

M2 Thermoisoplethendiagramm

Komplexe Zusammenhänge analysieren und E graphisch darstellen

Wenn es um komplexe Themen geht, helfen oft Darstellungen, welche die wichtigen Elemente und Zusammenhänge visualisieren.

Mindmap (Gedankenkarte)
Zumeist erste einprägsame Visualisierung von Ideen und Sachverhalten in hierarchisch strukturierter Form

☞ Arbeitsschritte

1. Thema, Basisbegriff mittig platzieren
2. Für die durch Materialauswertung bzw. Brainstorming gefundenen Schlüsselbegriffe Hauptäste anlegen und beschriften
3. Für die Unterbegriffe weitere Astverzweigungen beschriften

Wirkungsgefüge
Graphische Darstellung für das zum Beispiel naturgesetzliche Zusammenwirken von Elementen und Komponenten eines Systems in seinen (Wechsel-, Rück-)Wirkungen

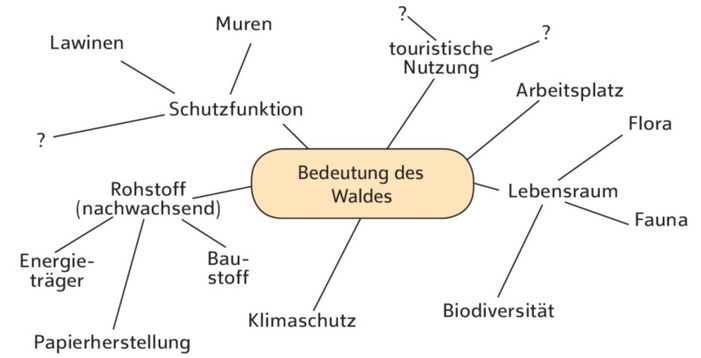
☞ Arbeitsschritte

1. Materialien auswerten
2. Wichtige Schlüsselbegriffe auflisten und nach Themenbereichen ordnen (auf Papierstreifen notieren oder farbig markieren und sortieren)
3. Nach den Zusammenhängen und Wechselwirkungen bzw. Einflussfaktoren anordnen
4. Durch Pfeile Wirkungen, Verflechtungen bzw. Rückkopplungen darstellen, evtl. mit Daten ergänzen

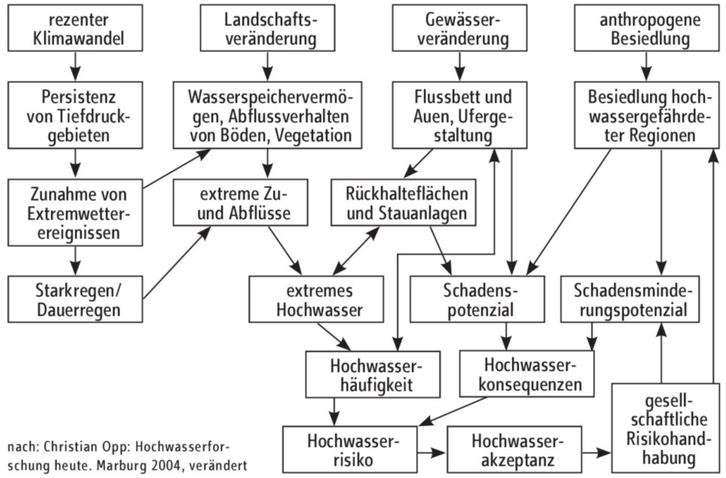
Concept Map (Begriffsnetz)
Komplexere Form der Visualisierung, bei der mehrere zentrale Begriffe und Unterbegriffe sowie deren Beziehungen untereinander (z. B. zeitlich, kausal) durch Pfeile verknüpft und durch Symbole, Verben oder kurze Sätze erläutert werden

☞ Arbeitsschritte

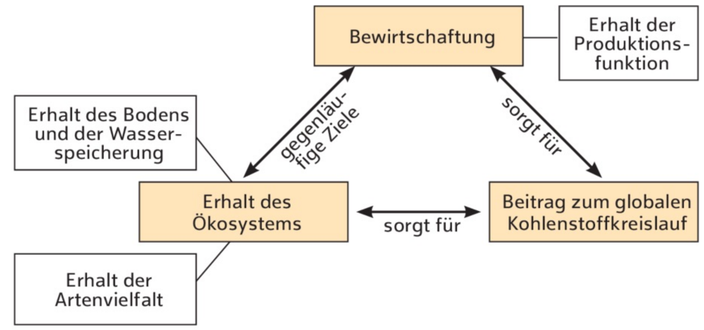
1. Zentrale Begriffe auswählen und separat notieren
2. Bekannte bzw. mögliche Beziehungen darstellen
3. Vernetzungen erweitern bzw. verfeinern (oft mehrere Entwürfe nötig)



M3 Mindmap zum Thema „Bedeutung des Waldes“



M4 Wirkungsgefüge zum Thema „Hochwasser“



M5 Einfache Concept Map zum Thema „Nachhaltiges Waldmanagement“

Strukturdaten und Statistiken interpretieren

Eine Sammlung quantitativ erfasster Daten gleicher oder unterschiedlicher Sachverhalte wird in einer Statistik zusammengefasst. Eine häufig genutzte Darstellungsform ist die Tabelle, deren Informationen mithilfe ausgewählter Indikatoren für einen bestimmten Zeitpunkt bzw. Zeitraum ein Thema verdeutlichen. Die Zahlenwerte beschreiben einen Zustand oder eine Entwicklung in einem bzw. mehreren Räumen. Statistiken können durch die Auswahl der Daten und Zeiträume sowie durch die Skalierung der Werte manipulativ wirken.

Strukturdaten und Statistiken analysieren
☞ Arbeitsschritte

1. Orientierung
- Überprüfen Sie die Daten auf formale Kriterien wie Überschrift (Thema, geographischer Raum), Quellen (Verlässlichkeit) und Aktualität (Erhebungsjahr).
- Arbeiten Sie die inhaltlichen Kriterien und Indikatoren der Spalten und Zeilen heraus. Achten Sie dabei auf:
  - Maßeinheiten,
  - Zahlenarten (absolute Zahlen, relative Zahlen, Beziehungszahlen z. B. zwischen unterschiedlichen Größen wie BNE pro Kopf, Indexzahlen),
  - gemessene Ist-Werte oder geschätzte Werte,
  - Zeitreihen.

2. Daten beschreiben
- Analysieren Sie den Inhalt der dargestellten Statistik durch eine systematische Auswertung der Zahlenreihen.
- Arbeiten Sie Maxima- bzw. Minima-Werte, regelhafte Verläufe der Werte, Sprünge in den Wertereihen heraus, um Entwicklungen bzw. Trends oder Veränderungen zu erkennen.
- Rechnen Sie ggf. absolute Zahlen in Prozentwerte um, um Entwicklungen zu verdeutlichen bzw. um besser mit Durchschnittswerten vergleichen zu können.
- Stellen Sie die zentralen Aussagen zum Thema dar.

3. Inhalt der Daten interpretieren
- Stellen Sie Beziehungen zwischen den Daten dar.
- Erklären und begründen Sie mithilfe Ihrer Vorkenntnisse die Ursachen des Dargestellten.
- Entwickeln Sie in Bezug auf die Fragestellung eine abschließende Gesamtaussage.

4. Daten bewerten
- Bewerten Sie die Aktualität, Vollständigkeit, Verlässlichkeit und Darstellungsform der Daten.
- Bewerten Sie zum Schluss die Sicherheit der Gesamtaussage.

Indikator	2000	2010	2021
BNE/Kopf (kaufkraftbereinigt, in USD)	3020	5570	6890
Prozentanteil am BIP: – primärer Sektor – sekundärer Sektor – tertiärer Sektor	 15,9 25,6 58,5	 9,1 20,8 70,1	 5,4 22,9 71,7
Export (in Mio. USD)	51	115	53,0
Import (in Mio. USD)	387	654	727,0
Jugendarbeitslosenquote (in % der 15- – 24-Jährigen)	16,8	16,7	34,3
Armut (< 1,90 USD/Tag/Person, in % der Gesamtbevölkerung)	16,2	8,1	3,4
Fertilitätsrate (Geburten pro Frau)	3,5	2,6	2,3
Säuglingssterblichkeit (pro 1000 Lebendgeborene)	29,1	23,3	16,9
Zugang zu sauberem Wasser (in % der Bevölkerung)	82,4	88,9	88,8[2]
Human Development Index (Wert/Rang)	0,523/117	0,632/125	0,665/126[1]

[1]2019, [2]2020, Quellen: FWA, HD-Report, Weltbank, UNData

M1 Strukturdaten des tropischen Inselstaats Kapverden

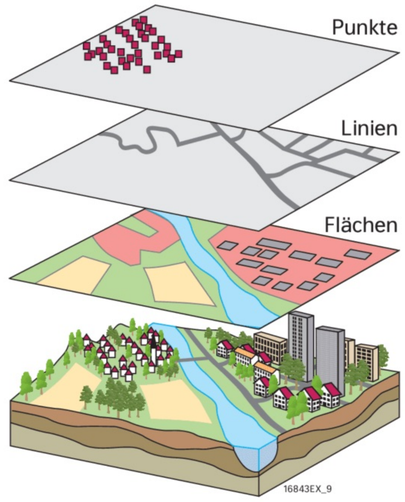
Zahlen als vermeintlich objektive Größen müssen stets kritisch hinterfragt werden. Denn Daten ...
- sind teilweise nur geschätzt, weil es exakte Zählungen nur selten gibt.
- sind oft sehr präzise und täuschen damit eine überzeugende Scheingenauigkeit vor, die nur selten objektiv ist.
- sind oft veraltet, weil aus Mangel an aktuellen Daten auf Zahlen vergangener Jahre zurückgegriffen wird.
- sind manchmal manipuliert, weil sie auf unaufrichtigen Stichproben basieren bzw. in graphischen Darstellungen irreführende Maßstäbe verwendet werden:
  - Zahlenwerte können als absolute Zahlen oder Verhältniszahlen, z. B. in Prozent, angegeben sein.
  - Mittelwerte fassen viele Zahlen zu einem Wert zusammen: Extremwerte einer Statistik werden dabei geglättet und das Ergebnis geschönt.
  - Durch Klassenbildung werden die Intervalle einer Skala festgelegt (z. B. 0 – 5, 6 – 10). Durch eine geschickte Skalierung kann man eine Sachlage hervorheben oder auch verschleiern.
- stammen aus unterschiedlichen bzw. verschiedenen Quellen, wobei es sich um Primärquellen (Originalquellen), Sekundärquellen (d. h. bereits interpretierte und bewertete Primärquellen) oder Tertiärquellen (d. h. Zusammenfassungen der erstgenannten Quellentypen) handeln kann.

M2 Tipps zur Bewertung von Statistiken

E↑ Mit Geographischen Informationssystemen (GIS) arbeiten

Ein Geographisches Informationssystem (GIS) ermöglicht die computergestützte
- Erfassung,
- Verwaltung,
- Analyse und
- Präsentation von räumlichen Daten (Geodaten).

Geodaten sind Daten mit Raumbezug, d. h., sie sind mit einer bestimmten Lage auf der Erdoberfläche verknüpft. Die entsprechenden Informationen können in einem GIS in einzelnen Datenebenen (Layern, M3) vorliegen, die sich übereinanderlegen lassen (Layerprinzip).
Informationen aus dem Realraum lassen sich in einem GIS als Punkte, Linien oder Flächen darstellen. Auf diese Weise können z. B. Straßen oder Grundstücke als Geoobjekte abgebildet werden. Sie können dabei mit zusätzlichen Informationen (Sachdaten) verknüpft sein, wie etwa die Nutzung der Grundstücke, eine Hochwassergefährdung, Straßennamen bei Straßen. Mithilfe eines GIS lassen sich somit beliebige Ausschnitte der Realität modellhaft darstellen.
Wichtige Einsatzbereiche von GIS sind u. a. das Vermessungswesen und die Kartographie sowie die Raum- und Umweltplanung. GIS werden häufig zur Kartierung genutzt. Räumliche Analysen unterstützen die planerische Entscheidungsfindung. So lassen sich z. B. Pufferzonen um Geoobjekte erzeugen, wie etwa eine Fläche mit festgelegtem Abstand um eine Wohnsiedlung herum, auf der keine Windkrafträder aufgestellt werden dürfen.



M3 Layerprinzip eines GIS

Schließlich lassen sich mit einem GIS unterschiedliche Arten von Karten, insbesondere thematische Karten, erzeugen. Geographische Informationssysteme sind in Form von Desktop-GIS (installiertes Programm am stationären Rechner), Web-GIS (Nutzung über einen Web-Browser) und als Mobiles GIS (Nutzung auf mobilen Geräten), z. B. für den GPS-gestützten Einsatz im Gelände, verfügbar.

Arbeiten mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)
☞ Mögliche Arbeitsschritte

1. Planung
Skizzieren Sie ein GIS-Projekt. Formulieren Sie das Ziel, benennen Sie die durchzuführenden Aufgaben und definieren Sie den Zeitrahmen. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten eines GIS reichen von der Erstellung einer einfachen Karte, über eine Kartierung bis hin zum Lösen einer komplexen räumlichen Fragestellung.

2. Vorüberlegungen
Vor dem Projektstart sollten folgende Fragen geklärt werden:
- Welche Geodaten werden benötigt, sind vorhanden oder müssen neu erfasst werden?
- Welche weiteren Informationen müssen mit den Geodaten verknüpft sein?
- Welche Werkzeuge und Funktionen werden benötigt?
- Welches GIS eignet sich?

3. Durchführung
Nachdem ein geeignetes GIS gewählt ist, beginnt das Projekt. Je nach Art und Umfang findet dabei das EVAP-Modell Anwendung.
- Erfassung der für das Projekt benötigten Daten, ggf. mithilfe eines Erfassungskatalogs
- Verwalten der Daten durch strukturiertes Speichern und Anlegen von Datenebenen
- Analyse durch geeignete Werkzeuge, die zu neuen Datenebenen als Ergebnis führen
- Präsentation der zusammengestellten, ggf. klassifizierten und farblich gestalteten Datenebenen als Karte

4. Reflexion
Wurde das Projektziel erreicht? Was im Projekt funktionierte besonders gut und was weniger? Welche Arbeitsabläufe können oder sollten verbessert werden?

Geographische Informationen recherchieren

Bei einer Recherche ist es nicht nur wichtig, passende Suchstrategien zu haben (M2), sondern auch geeignete Quellen zu nutzen (M1). Prüfen Sie stets die Vertrauenswürdigkeit einer Quelle bzw. die Quellenangaben gründlich, insbesondere, um *Fake News* auszuschließen (nicht nur bei Texten, sondern auch bei Karten- und Bildmaterial). Onlinelexika wie zum Beispiel Wikipedia werden gerne genutzt, doch ist trotz Kontrollmechanismen und Zitaten nicht klar, welche Fachkompetenz die Schreibenden besitzen und ob sie Interessen verfolgen oder bestimmte Meinungen einseitig vertreten. Auch der Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) ist nicht als wissenschaftlich seriös zu werten, vor allem wenn keine Belege vorhanden sind. Es besteht die Gefahr, dass KI zur gezielten Falschinformation verwendet wird.
Zu guter Letzt: Vergessen Sie selbst die Literaturangabe nicht (M3).

- Wissenschaftliche Publikationen:
  - Literaturdatenbanken, z. B. Geodok der Universität Erlangen-Nürnberg für geographische Veröffentlichungen, Katalog OPAC der Bayerischen Staatsbibliothek
  - Veröffentlichungen von Instituten und Kongressen (z. B. zum Thema rezenter Klimawandel) und von Ämtern und Behörden (Bund, Länder, Gemeinden)
  - Populärwissenschaftliche Magazine
  - Fachzeitschriften und Sachbücher
- Lexika für Fachbegriffe
- seriöse Zeitungen, Radiosender, Institutionen (z. B. Bundeszentrale für politische Bildung)
- Atlas (Daten und Raumbeispiele)
- Satellitenbilder: z. B. Raumfahrtagenturen (NASA, ESA, DLR), Deutscher Wetterdienst (DWD)
- Videos: Mediatheken von Doku-Kanälen öffentlich-rechtlicher Sender
- Datenrecherche: Statistiken und Länderinformationen, z. B. von UN, EU (Eurostat), OECD, CIA World Fact Book, Auswärtigem Amt, Statistischem Bundesamt

M1 Quellen geographischer Informationen (Auswahl)

Für eine Internetquelle:
Nachname des Autors, Vorname: Titel. In: Titel der Webseite. Erstellungsdatum, alternativ: abgerufen bzw. Zugriff am (Datum des Abrufs bzw. des Zugriffs).
Rechid, Diana: Ursachen und Folgen des Klimawandels. In: Bundeszentrale für Politische Bildung, 08.07.2012. www.bpb.de/shop/zeitschriften/izpb/klima-347/336195/ursachen-und-folgen-des-klimawandels, abgerufen am 20.07.2023

Für einen (Fach-)Zeitschriftenartikel:
Nachname des Autors, Vorname: Titel. In: Titel der Zeitung, Heftnummer/Datum der Ausgabe, Seitenangabe.
Roggenkamp, Thomas: Das Hochwasser der Ahr im Juli 2021. Hydrologie, Einordnung und Folgefragen. In: Geographische Rundschau 9/2022, S. 22 ff.

Für ein Buch/Fachbuch:
Nachname des Autors, Vorname: Titel. Verlagsort, Erscheinungsjahr, ggf. Verlag, ggf. Seitenangabe.
Rahmstorf, Stefan, Schellnhuber, Hans Joachim: Der Klimawandel. München 2019 (C.H. Beck Wissen Bd. 2366), S. 22

Kurzformen sind möglich, wenn die ausführliche Angabe im Anhang in einem Literaturverzeichnis erfolgt. Ein Beispiel ist die Harvard-Methode (z. B.: Rahmsdorf 2019, S. 22). Kürzungen im Originaltext sind erlaubt, wenn sie durch [...] kenntlich gemacht werden und nicht den Sinn entstellen.

M3 Erstellen einer Literaturangabe (Beispiel)

Was ich untersuche	Welche Fragen ich mir stellen kann
Absicht bzw. Ziel der Quelle	Ist es Werbung, Unterhaltung, Information, Interessenvertretung?
Seriosität bzw. Vertrauenswürdigkeit	Gibt es ein Impressum oder einen Ansprechpartner? Ist die Darstellung verständlich, werden Fachbegriffe verwendet? Ist die Rechtschreibung korrekt? Tauchen die Informationen auch auf anderen, seriösen Seiten, z. B. von Tageszeitungen oder Instituten, auf? Kann ich mit einer umgekehrten Bildersuche mithilfe einer Suchmaschine klären, ob ein Bild aus einem anderen Kontext kommt? Sind z.B. Personen auf Bildern deformiert oder stimmen Proportionen nicht (Hinweis auf den Einsatz von KI)?
Autorin oder Autor	Ist die Seite die einer Fachfrau bzw. eines Fachmanns, eines Unternehmens, einer Organisation oder Institution?
Verlinkung	Auf welche Seiten führen die Links?
Quellenangaben	Werden die Quellen (z. B. zu statistischen Daten) kenntlich gemacht?
Aktualität	Sind die Daten aktuell? Wird die Seite regelmäßig aktualisiert?
Objektivität	Ist der Text sachlich und ausgewogen oder präsentiert er einseitige Bewertungen und persönliche Meinungen?

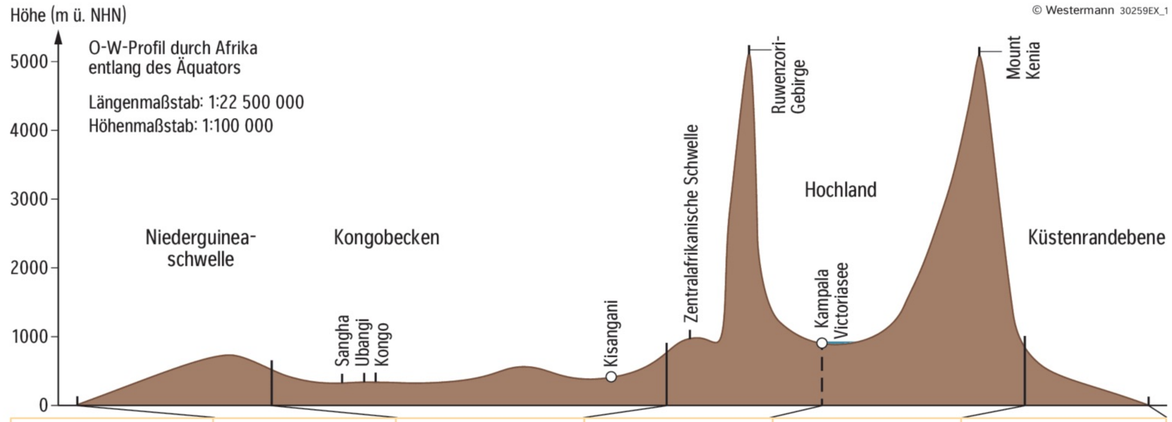
M2 Checkliste zur Bewertung einer Quelle

E↑ Kausalprofile erstellen

Geographinnen und Geographen untersuchen das Zusammenwirken verschiedener Geofaktoren, insbesondere Klima, Boden, Vegetation, Relief und Gewässer (vgl. ▸S. 212/213). Davon hängt die Nutzung durch den Menschen ab. Kausalprofile veranschaulichen Zusammenhänge zwischen Natur- und Kulturraum. So können Möglichkeiten der Inwertsetzung und räumliche Nutzungsunterschiede anschaulich gezeigt werden. Tipp: Zusätzlich zum Atlas können Informationen zur Landwirtschaft im Internet gewonnen werden.

Kausalprofile erstellen
☞ Arbeitsschritte

1. **Höhenprofil zeichnen**
   - physische Atlaskarte mit Höhenschichten wählen
   - Längen- und Höhenmaßstab (Überhöhung) festlegen
   - passende Höhenpunkte eintragen, zu einer Profillinie verbinden
2. **Großlandschaften/Raumausstattung eintragen**
   mithilfe des Atlas wichtige Landschaftseinheiten beschriften (z. B. Becken, Schwellen, Gebirge, Gipfel, Gewässer)
3. **Geofaktoren und Nutzung**
   z. B. Klima, Vegetation, Böden, landwirtschaftliche Nutzung, mithilfe von thematischen Karten tabellarisch vermerken oder im Profil mit einer Signatur einzeichnen
4. **Interpretation**
   - Zusammenfassung von Unterschieden bzw. Wandel
   - Merkmale begründen
   - Zusammenhänge erläutern
   - Auffälligkeiten berücksichtigen und erklären



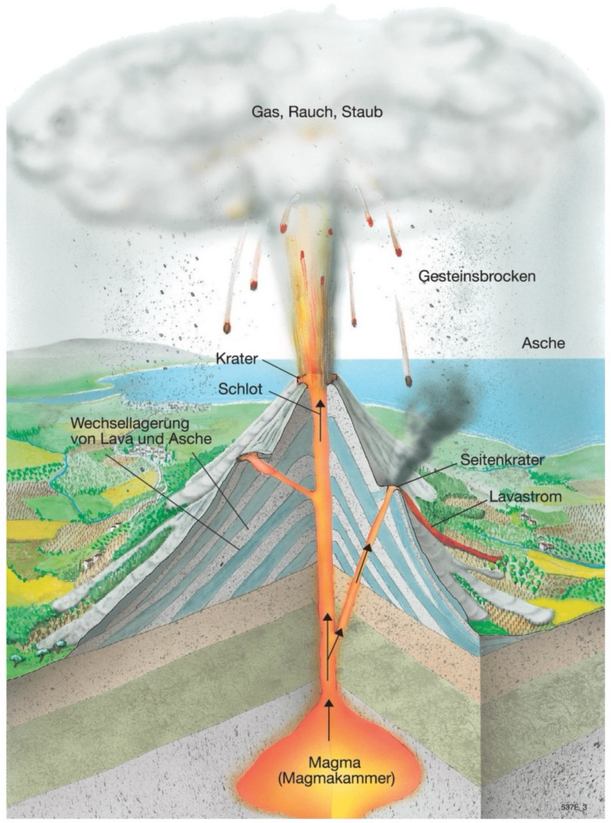
© Westermann 30259EX_1

Januar-Durchschnittstemperatur (°C)	25 – 30	20 – 25, teils 25 – 30	25 – 30	15 – 20	25 – 30
Juli-Durchschnittstemperatur (°C)	20 – 25	20 – 25	20 – 25 (15 – 20)	15–20	25 – 30
Jahresniederschlag (mm)	2000 – 3000	1500 – 2000	1500 – 2000/ 1000 – 1500	500 – 1000 250 – 500	500 – 1000 / 250 – 500
vorherrschende Vegetation	tropischer Regenwald		Ackerland (Hochgebirgsgrasland)		Dornstrauchsavanne
Böden	Latosole	mineralische und hydromorphe Böden und Alluvialböden, Latosole	Latosole	rote und gelbe Podsolböden, rotbraune und rote Böden der Trockensavannen/ Trockenwälder	rotbraune und rote Böden der Trockensavannen/Trockenwälder
landwirtschaftliche Nutzung	tropischer Regenwald; vereinzelt Plantagen für Kaffee, Kakao		tropische Landwechselwirtschaft für den Eigenbedarf		
			Kaffee, Erdnuss, Banane	Tee, Sisal	Ziegen- und Rinderhaltung

M4 Kausalprofil (Ost-West-Profil) durch Afrika entlang des Äquators

Blockbilder auswerten und E↑ erstellen

Blockbilder sind komplexe Graphiken, welche Zusammenhänge (z. B. Wasserkreislauf, Vulkane) in einem Raumausschnitt dreidimensional veranschaulichen. Sie kombinieren dabei ein Profil mit einer Schrägansicht, sodass eine räumliche Vorstellung entsteht. Durch den Schnitt (Profil) können Reliefformen und geologische Strukturen visualisiert und durch die Schrägansicht beispielsweise Lage und Lagebeziehungen, Zusammenhänge und damit Vernetzungen und Kausalbeziehungen sichtbar gemacht werden.



M1 Blockbild eines Schichtvulkans (▸ S. 201)

Blockbilder auswerten
☞ Arbeitsschritte

Die Vorgehensweise orientiert sich an der zu Graphiken und Bildern (▸ S. 220). Hier kommt die dreidimensionale Darstellung (Schnitt im Vordergrund) dazu.

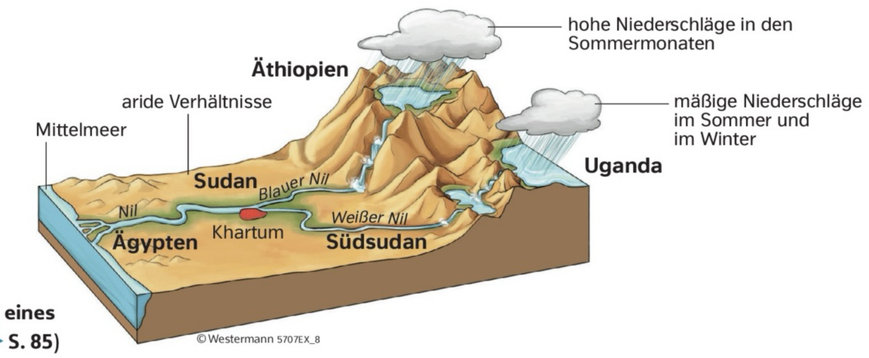
1. Orientierung
Titel und Angaben zum Thema, Fragestellung beachten

2. Darstellung und Beschriftung
Art der Darstellung analysieren und beschreiben, Signaturen beachten

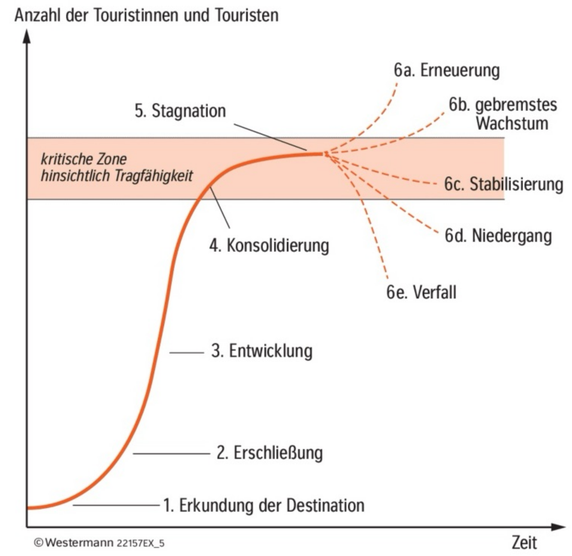
3. Beschreibung
vom Allgemeinen zu Besonderheiten:
- Raumausschnitt, Umfang der Darstellung
- thematische Ausrichtung, Fokus
- Einzelheiten zum Thema der Darstellung
- Kausalketten analysieren und erläutern
- Zusammenhänge zwischen den Kausalketten in Wirkungsgefügen beschreiben

4. Erklärung und Interpretation
Dargestellten Inhalt anhand der Elemente, die für die Fragestellung nötig sind, erklären, Prinzip von der Ursache zur Wirkung beachten

5. Zusammenfassung
Zusammenfassung der Aussage; eventuell Formulierung von Aspekten, die nicht oder nicht ausreichend geklärt werden können



M2 Blockbild zur Darstellung eines Fremdlingsflusses (Nil) (▸ S. 85)



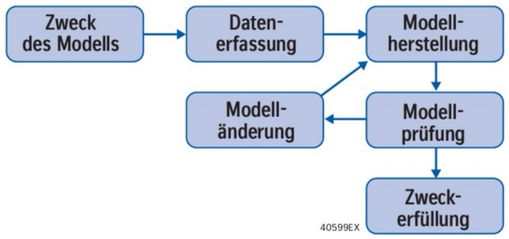
Quelle: Jebbink, K.: Butler konkret. Das Wachstumszyklenmodell von Tourismusregionen als lebendiges Diagramm. In: Praxis Geographie 10/2011, S. 10.

M3 Theoretisches Modell: Wachstumszyklusmodell von Richard W. Butler (▸ S. 181: M3)

Modelle interpretieren und E↑ erstellen

Modelle sind verkleinerte und vereinfachte Abbildungen, die helfen sollen, die Wirklichkeit genauer zu verstehen als durch reine Beobachtung. Auch in der Geographie werden in verschiedenen Modellarten (M5) durch Vereinfachung und Abstraktion Strukturen, Prozesse sowie ihre Wechselwirkungen deutlich. Geographische Sachverhalte können so sinnvoll miteinander verglichen, teilweise auch Entwicklungen prognostiziert werden.

Modelle weisen drei wesentliche Merkmale auf:
- Zu jedem Modell gibt es ein Original.
- Nicht alle Eigenschaften des Originals werden erfasst, sondern nur jene, die dem Modellkonstrukteur wichtig erscheinen.
- Modelle sollen einen bestimmten Zweck erfüllen. Der Modellkonstrukteur hat ein Ziel.



M4 Schritte bei der Erstellung eigener Modelle

Bei der Arbeit mit Modellen beachten Sie daher:
- Die Reduktion der Aspekte kann zu Fehlinterpretation führen.
- Der Betrachtungsausschnitt des Originals spielt eine Rolle.
- Bei einer starken Detailfixierung in einem Modell kann der Gesamtzusammenhang verloren gehen.

Modelle interpretieren
☞ Arbeitsschritte

1. Thema des Modells erfassen
- Lesen von Beschriftung und Titel
- thematische, räumliche und zeitliche Einordnung

2. Inhalt erkennen
- Verallgemeinerung welches Themas?
- Überprüfen der Beziehungen zwischen Einzelaspekten
- Finden von zum Modell passenden Beispielen aus der Wirklichkeit

3. Kernaussage des Modells herausarbeiten
- Zusammenfassung der Aussage des Modells in wenigen Sätzen

4. Modell kritisch beurteilen
- Aussagekraft des Modells?
- Übertragbarkeit des Modells?
- Gültigkeit in einer bestimmten Zeit bzw. in einem bestimmten Raum?
- Notwendigkeit von Ergänzungen?

Konkrete Modelle
- z. B. Bau/Nachbildung eines realen Gegenstandes (z. B. Stadt, Landschaft, Landschaftsteil)
- dreidimensional
- große Realitätsnähe
- überwiegend manuelle bzw. handwerkliche Gestaltung

↓

Illustrative Modelle
- z. B. alle Karten(arten) und Diagramme (Kennzeichnung geographischer Sachverhalte durch festgelegten Abbildungsmechanismus)
- zweidimensional
- Schemazeichnungen (z. B. Planungs- und Entwicklungsskizzen)
- verstärkte Reduzierung der Realität und erhöhter Abstraktionsgrad gegenüber konkreten Modellen

↓

Theoretische Modelle
- z. B. exemplarische Darstellung von Vorgängen, Zusammenhängen (z. B. Wirkungsgefüge, Teufelskreise; Darstellung auch als mathematische Formel)
- weitere Verstärkung des Abstraktionsgrades, oft vielschichtig

→ Steigerung des Schwierigkeitsgrades

M5 Modellarten

Mit dem Modell des Syndromkonzepts arbeiten

Die aktuellen Umweltprobleme sind komplex, global und ohne Intervention stetig zunehmend. Diese Erkenntnis brachte die Wissenschaft und Politik zur Einsicht, dass nur eine vernetzte und interdisziplinäre Betrachtungsweise effektiv ist, um Lösungsansätze zu definieren. Ein solcher Ansatz ist das Syndromkonzept des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). Mit „Syndrom" und „Symptom" verwendet es zwei Begriffe, die aus der Medizin ausgeliehen sind.

Ausgangspunkte sind die Kernprobleme des globalen Wandels (M1), also die Umweltprobleme von globaler Bedeutung, die auf die komplexen Wechselbeziehungen von Mensch und Umwelt zurückzuführen sind.

Um das komplizierte Geflecht von Ursachen, Wirkungen und Rückkopplungen des globalen Wandels beschreiben zu können, wurden vom WBGU etwa 80 Symptome erfasst. Sie stammen aus neun verschiedenen Sphären bzw. Bereichen (M3) und beschreiben negative (z. B. Gen- und Artenverluste) und positive Vorgänge (wachsendes Umweltbewusstsein). Eine weitere Grundannahme ist, dass in bestimmten Regionen der Welt die Mensch-Umwelt-Wechselbeziehungen häufig nach einem typischen Muster ablaufen. Solch ein Syndrom (Krankheitsbild, M2) ist dann eine charakteristische Kombination von Symptomen (Krankheitszeichen) und ihren Wechselwirkungen. So tritt zum Beispiel das Dust-Bowl-Syndrom mit seinen typischen Symptomen wie Intensivierung der Landwirtschaft, Überdüngung, Schädigung von Ökosystemen und Landflucht in vielen Industrie- und Schwellenländern auf.

- anthropogen verursachter Klimawandel
- Verlust an Biodiversität (Artenvielfalt)
- Bodendegradation (Schädigung der Böden)
- Verknappung und Verschmutzung von Süßwasser
- Übernutzung und Verschmutzung der Weltmeere
- umweltbedingte Gefährdung der Welternährung
- umweltbedingte Gefährdung der Weltgesundheit
- Zunahme anthropogen verursachter Naturkatastrophen
- Bevölkerungsentwicklung und -verteilung (Wachstum der Weltbevölkerung, Landflucht, Migrationsbewegungen)
- globale Entwicklungsdisparitäten zwischen Industrie- und Entwicklungsländern

M1 Kernprobleme des globalen Wandels

Syndrom	Definition	Beispiele
Sahel-Syndrom	landwirtschaftliche Übernutzung von Standorten in (land-)wirtschaftlichen Randbereichen	landwirtschaftliche Übernutzung der Savannen
Raubbau-Syndrom	Raubbau an natürlichen Ökosystemen	Regenwaldzerstörung für Holzgewinnung u. Ölpalmplantagen
Landflucht-Syndrom	Umweltdegradation durch Preisgabe traditioneller Landnutzungsformen	Aufgabe von (traditionellen, nachhaltigen) Bewässerungssystemen durch Migration der Bevölkerung in die Städte
Dust-Bowl-Syndrom	nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern	Pestizidbelastung des Grundwassers, Übernutzung fossiler Grundwasserressourcen
Katanga-Syndrom	Umweltdegradation großflächiger Ökosysteme durch Abbau nicht erneuerbarer Ressourcen	Vernichtung von Ökosystemen durch Tagebau, Umweltverschmutzung durch Erdölförderung
Massentourismus-Syndrom	Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke	Zersiedlung in Küstenregionen, Verstärkung des anthropogenen Treibhauseffekts durch Flugreisen
Verbrannte-Erde-Syndrom	Umweltzerstörung durch militärische Nutzung	bleibende Bodendegradation durch Verminung, Altlasten auf Truppenübungsgeländen
Aralsee-Syndrom	Umweltschädigung durch Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten	Verlandung des Aralsees oder des Dreischluchtenstaudamms
Grüne-Revolution-Syndrom	Umweltdegradation durch Verbreitung standortfremder landwirtschaftlicher Produktionsverfahren	Belastung der Gewässer durch Pestizide und Nährstoffe, Versalzung durch Bewässerung
Kleine-Tiger-Syndrom	Vernachlässigung ökologischer Standards im Zuge hochdynamischen Wirtschaftswachstums	fehlende Umweltschutzauflagen (z.B. in Schwellenländern oder Ländern des Globalen Südens)
Favela-Syndrom	Umweltdegradation durch ungeregelte Verstädterung	Slums in Megastädten
Suburbia-Syndrom	Landschaftsschädigungen durch geplante Expansion von Stadt- und Infrastruktur	Zersiedelung am Rand von Großstädten, Agglomerationen (Los Angeles, Ruhrgebiet)
Havarie-Syndrom	anthropogene Umweltkatastrophen mit längerfristigen Auswirkungen	Atomreaktorunfälle, Tankerunglücke, Brände in Chemiefabriken
Hoher-Schornstein-Syndrom	Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen	Verstärkung des Treibhauseffekts, Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht, Waldsterben
Müllkippen-Syndrom	Umweltverbrauch durch Deponierung zivilisatorischer Abfälle	Abfalldeponien am Rande von Großstädten
Altlasten-Syndrom	lokale Kontamination von Umweltschutzgütern an vorwiegend industriellen Produktionsstandorten	Ballungsräume mit großindustriellen Anlagen (Beispiele: Bitterfeld, Pittsburgh)

M2 Syndrome des globalen Wandels

Wirkungsgefüge nach dem Syndromkonzept erstellen und analysieren
☞ Arbeitsschritte

1. Orientierung und Vorbereitung
- Analysieren Sie die Materialien hinsichtlich der Komplexität der Inhalte.
- Arbeiten Sie das betroffene Syndrom sowie die zugehörigen Sphären (z.B. Biosphäre) bzw. Bereiche (z.B. Wirtschaft) heraus.
- Erstellen Sie die Matrix der neun Sphären bzw. Bereiche, wobei die für das Syndrom relevanteste Sphäre zentral angeordnet wird (M3).

2. Symptome herausarbeiten und zuordnen
- Arbeiten Sie die Symptome, d. h. die nicht-nachhaltigen Kernprobleme, aus den Materialien heraus.
- Ordnen Sie die Symptome den Sphären bzw. Bereichen zu.

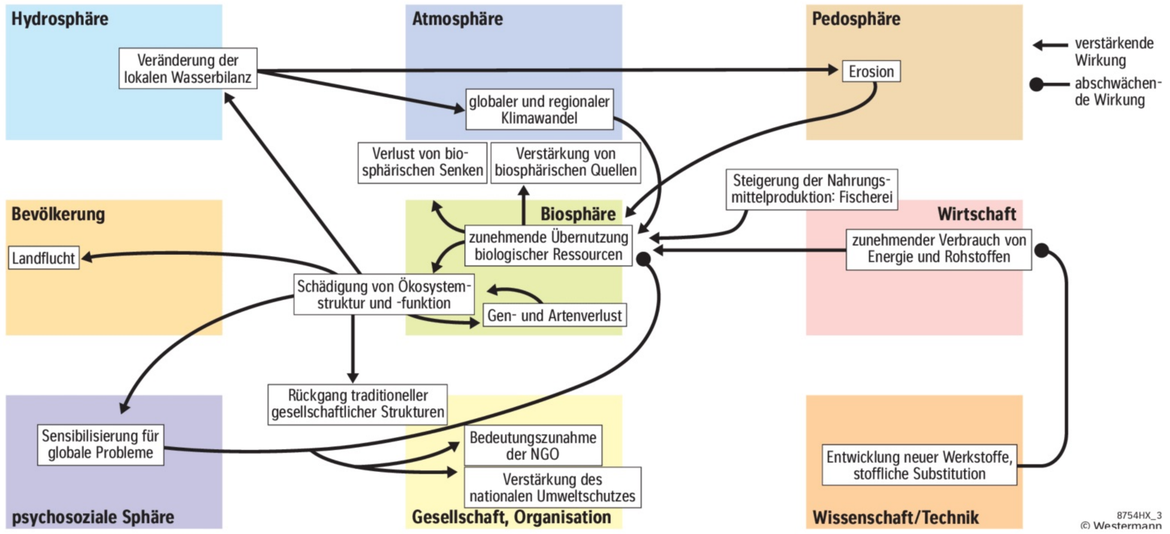
3. Beziehungsgeflecht erstellen
- Visualisieren Sie die Wechselwirkungen zweier Symptome verstärkend (—►), abschwächend (—●) oder unbestimmt (—?). Die Wechselwirkung dreier Symptome wirkt synergetisch.

4. Beziehungsgeflecht analysieren
- Arbeiten Sie die syndromauslösenden Faktoren hinsichtlich ihrer Intensität im Wirkungszusammenhang heraus. Achten Sie dabei auf Wechselwirkungen und Rückkopplungseffekte.
- Entwickeln Sie eine Syndromprognose und stellen Sie Handlungsempfehlungen zur Linderung von Fehlentwicklungen bzw. für geeignete Vorsorgemaßnahmen dar.

M4 Raubbau-Syndrom: gerodeter borealer Nadelwald in Russland

Das Raubbau-Syndrom beschreibt die Überbeanspruchung nachwachsender Ressourcen terrestrischer und auch mariner Ökosysteme. Die Nutzungsinteressen des Menschen nehmen keine Rücksicht auf die natürliche Regenerationsfähigkeit, oft mit schwerwiegenden Folgen für den Naturhaushalt. Die Verletzung des Nachhaltigkeitsgebots führt zu Degradation, bis hin zur Vernichtung von natürlichen Ökosystemen, z. B. durch großflächigen Kahlschlag, durch Überweidung oder durch Überfischung. Folgen sind u.a. der Verlust biologischer Vielfalt, die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus Biomasse und Böden bzw. der Verlust der Lebensgrundlage der Bevölkerung. Durch Strategien nachhaltiger Nutzung und durch Schutzgebiete kann Einhalt geboten werden.

M5 Beispiel Raubbau-Syndrom



M3 Beziehungsgeflecht des Raubbau-Syndroms

Karikaturen auswerten

Karikaturen sind Zeichnungen, die oft übertrieben und satirisch soziale oder politische Probleme aufgreifen. Hierbei nimmt der Karikaturist stets eine kritische, bisweilen auch eine polemische Position ein. Dem Betrachter werden Sachverhalte durch Übertreibung zugespitzt präsentiert, mittels Verfremdung wird Vertrautes infrage gestellt. Tabubrüche sollen dabei provozieren und Denkanstöße geben oder zu Diskussionen anregen. Betrachtende werden so häufig auch emotional angesprochen. Dies schafft ein Problembewusstsein, birgt aufgrund der Vereinfachung aber auch die Gefahr, sich stereotyper Klischees zu bedienen und Vorurteile zu bestärken.
Bei Karikaturen handelt es sich um Momentaufnahmen. Um sie verstehen zu können, muss man die aktuelle oder zeitgeschichtliche gesellschaftliche Situation kennen.

M1 Karikatur (Martin Erl, 25.08.2019) (▸ S. 65: M4)

Karikaturen auswerten
☞ **Arbeitsschritte**

1. Orientierung
Titel oder Thema lesen, Angaben zur Karikatur (wo beziehungsweise in welchem Zusammenhang ist sie veröffentlicht etc.), beim Betrachten die Karikatur strukturieren:
- Aufbau, Anordnung von Elementen
- Ort, Ausschnitt der Darstellung

2. Betrachten, beschreiben, Symbole entschlüsseln
- Wie ist der Gesamteindruck? Welches Problem wird angesprochen?
- Was ist dargestellt (Personen, Dinge, Beziehungen zwischen den dargestellten Elementen etc.)?
- Wofür stehen einzelne Elemente oder Symbole?
- Aufbau: Wie sind die Elemente angeordnet (z. B. was steht im Mittelpunkt)?
- Welche Gestaltungsmittel fallen auf?

3. Aussage erschließen und erklären
- Worauf spielt die Karikatur an (Zeit, Ort, Umstände)?
- Was stellt die Karikatur in den Mittelpunkt?
- Welche Aussage trifft die Karikatur zum Thema?

4. Fazit – Einordnung und Einschätzung
- Warum hat der Zeichner oder die Zeichnerin diese Auswahl getroffen?
- Was will die Karikatur bewirken?
- Ist die Karikatur aussagekräftig bzw. ist sie gelungen?
- Was lässt sie weg?
- Formulieren Sie abschließend eine Einschätzung.

1. Orientierung
- Ohne Titel, Datum: 25.08.2019
- Urheber: Martin Erl; nach Recherche: Karikaturist aus Ingolstadt, bekannt für politische Karikaturen
- Szene eines Paares beim Grillen

2. Betrachten, beschreiben, Symbole entschlüsseln
Im Zentrum sitzt ein Paar beim Grillen auf der Terrasse ihres Hauses. Beide sind sommerlich gekleidet, beide tragen Sandalen oder Badelatschen. Sie sitzen in Plastikstühlen. Im Hintergrund sieht man einen Steingarten mit einer kleinen Leuchtkugel auf einem Stab sowie einen Metallzaun. Das zahlreiche Grillgut scheint ausnahmslos Fleisch zu sein (Steaks, Würstchen), auf einem kleinen Beistelltisch stehen vier Soßen.
Die Frau liest eine Zeitung mit der Schlagzeile „Amazonas-Waldbrände", der Mann sagt, während er ein Grillgut wendet: „Schrecklich, wie die Brasilianer ihren Regenwald zerstören."

3. Aussage erschließen und erklären
Im August 2019 schreckte die Weltöffentlichkeit aufgrund außergewöhnlich vieler Brände im Amazonasregenwald hoch. Die rechtskonservative Regierung von Jair Bolsonaro schritt nicht ein, zahlreiche westliche Politiker riefen zu einem Stopp der Feuer auf. Im Mittelpunkt der Karikatur steht die Mitverantwortung der westlichen Länder bzw. ihrer Menschen an der Zerstörung, deren hoher Fleischkonsum ein Anreiz für die Brände ist.

4. Fazit – Einordnung und Einschätzung
Die Karikatur hält den Fleisch essenden Menschen die Auswirkungen ihres Konsums vor Augen. Dass in Brasilien Regenwälder gerodet werden, um dort Rinder zu züchten und Soja als Tierfutter – auch für den deutschen Markt – anzubauen, ist durch die hohe Nachfrage nach Fleisch begründet. Sie überspitzt dabei deutsche Spießigkeit unter anderem durch die Ausstattung des Gartens, in dem keine einzige grüne Pflanze zu erkennen ist. Die Karikatur prangert so die Doppelmoral vieler Fleischliebhaber an.

M2 Beispielauswertung der Karikatur M1

Eine Diskussion führen

Bei einer Diskussion handelt es sich um ein sachbezogenes sowie Alternativen abwägendes und ergebnisoffenes Gespräch. Es ist dazu geeignet, durch einen Perspektivenwechsel Interessenkonflikte nachzuvollziehen, den eigenen Standpunkt zu bestimmen und ein ausgewogenes Urteil zu fällen. Unter der Einhaltung von Gesprächsregeln führt man demzufolge einen geordneten verbalen Streit. Zur Diskussion kommt es vor allem dann, wenn es zu einem Thema klare Entscheidungsalternativen im Sinne von Pro oder Kontra, im Sinne von Ja und Nein gibt.
Da alle Beteiligten Sachkompetenz benötigen, um die Argumente überzeugend zu vertreten, ist eine vorgeschaltete Arbeitsphase nötig: Quellenstudium (Lehrbuch, Fachliteratur, Internet, Presse) und Übungsphasen (Referate, Gruppenarbeit zu Teilthemen). Jede Diskussion sollte durch aktives Zuhören, konstruktive Beiträge sowie kooperatives Verhalten gekennzeichnet sein.

Eine Diskussion führen
☞ **Arbeitsschritte/Tipps**

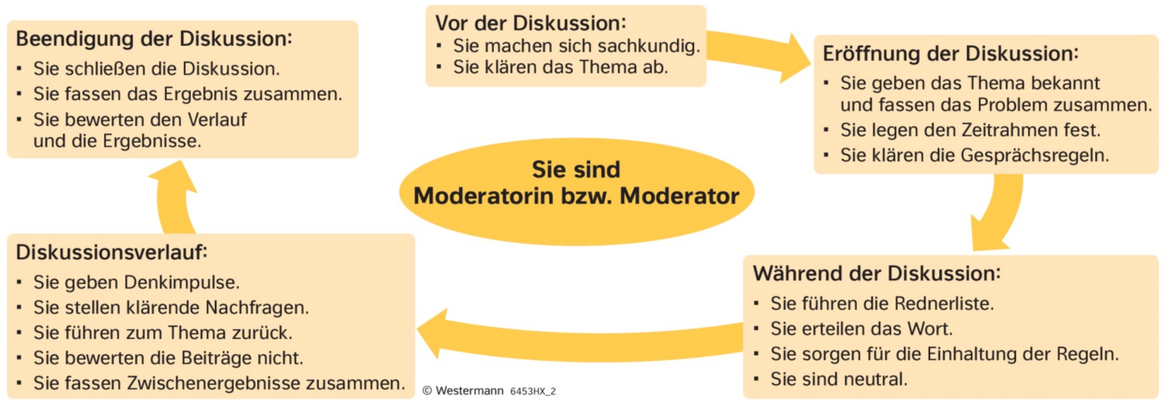
1. Vorbereitung
- fachliche Vorbereitung, auch auf die Argumente der anderen Sichtweisen; Überblick über mögliche Argumente
- Festlegung der Diskussionsregel (z. B. Redezeit)
- Planung des eigenen Statements zum Einstieg bzw. zum Abschluss

2. Durchführung
- Redebeitrag jeweils nur einer Person (z. T. in festem Zeitrahmen), andere ausreden lassen, keine Zwischenrufe
- aktiv zuhören, an die Argumente der anderen anknüpfen, auf diese eingehen, Fragen stellen
- sachlich bleiben, am Thema bleiben, Grundregeln einhalten

3. Nachbereitung
- Reflexion des Ablaufs
- Reflexion der Argumente und der Strategien

- Gruppendiskussion: Diskussion eines Themas innerhalb einer nicht zu großen Gruppe
- Plenumsdiskussion: Darstellung unterschiedlicher Sichtweisen zu einem Thema mit anschließender Diskussion im Plenum (Diskussionsbeiträge der Zuhörerinnen und Zuhörer)
- Debatte: Kontroverses Gespräch, bei dem die Beteiligten versuchen, die Zuhörerinnen und Zuhörer von ihrer Ansicht zu überzeugen, indem sie argumentativ den gegnerischen Standpunkt zu erschüttern versuchen. Die Debatte erfolgt nach festgelegten Regeln.
- Podiumsdiskussion: Ein Thema wird von Expertinnen und Experten kontrovers diskutiert. Eine solche Diskussion erfordert zudem einen Moderator bzw. eine Moderatorin sowie ein Publikum.
- Fish-Bowl-Diskussion: Aufteilung in einen Innenkreis (ca. drei bis vier Personen, die diskutieren) und einen Außenkreis (Zuhörende). Ein bis zwei zusätzliche Stühle im Innenkreis können zwischenzeitlich von den außen Sitzenden besetzt werden, um an der Diskussion teilzunehmen.
- Kugellager-Diskussion: Aufteilung in zwei gleich große Gruppen, die sich in einem Innen- und einem Außenkreis gegenüberstellen. Vereinbarung einer Zeit für den Austausch der beiden, die sich gegenüberstehen; danach Wechsel, indem sich ein Kreis um eine Person weiterdreht und mit ihr erneut die Argumente austauscht.

M4 Diskussionsarten



M3 Moderationsschema

E↑ Experimente durchführen und Hypothesen entwickeln

Ein Experiment ist eine planmäßige, wiederholbare und somit überprüfbare Beobachtung von natürlichen Vorgängen unter künstlich hergestellten, möglichst veränderbaren Bedingungen, sodass sich Regelmäßigkeiten und allgemeine Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen. Ausgangspunkt jedes Experiments ist eine Hypothese oder geographische Fragestellung, die durch entdeckendes, forschendes, problemlösendes und kausal vernetzendes Denken gelöst wird. Modellexperimente veranschaulichen die Realität besonders vereinfacht.

1. Experiment zur Albedo
Materialien:
ein schwarzer und ein weißer Gegenstand aus demselben Material, eine Wärmequelle (z. B. Sonnenschein oder eine Lampe, die Wärme abstrahlt – keine Energiesparlampe), Thermometer

Durchführung:
1. Legen Sie beide Gegenstände nebeneinander und bestrahlen Sie sie etwa 5 Minuten.
2. Messen Sie die Temperatur beider Gegenstände.

2. Verhalten von Wasser bei Erwärmung
Materialien:
Erlenmeyerkolben, Stopfen mit Steigrohr, Wasserkocher, hitzebeständiges Glasgefäß, Wasser mit Farbstoff (z. B. Tinte), zwei farbige, wasserfeste Stifte

Durchführung:
1. Füllen Sie kaltes, gefärbtes Wasser in den Erlenmeyerkolben, bis es im Steigrohr sichtbar ist, und markieren Sie den Wasserstand mit einem Folienstift.
2. Stellen Sie den Erlenmeyerkolben für einige Minuten in das Glas mit heißem Wasser.
3. Beobachten Sie den Vorgang und markieren Sie den Wasserstand am Ende des Experiments.

3. Auftauen von gefrorenem Boden
Materialien:
eine höhere, klare Plastikgefrierdose, gut durchfeuchtete Erde, Kieselsteine unterschiedlicher Größe, Gefrierschrank, Föhn, zwei farbige wasserfeste Stifte

Durchführung:
1. Befüllen Sie mehrere Stunden vor der Untersuchung die Gefrierdose mit der Erde und drücken Sie die Kieselsteine am Rand der Dose in die Erde. Markieren Sie deren Lage. Stellen Sie die Dose in den Gefrierschrank.
2. Nehmen Sie die Dose aus dem Gefrierschrank und überprüfen Sie die Position der Steine. Drücken Sie nun Ihre Finger in den Boden.
3. Erwärmen Sie den Boden einige Minuten mit dem Föhn. Wiederholen Sie evtl. Schritt 2 und 3.

M1 Experimente zum Thema Klima bzw. rezenter Klimawandel

Hypothesen und Theorien gehören zum wissenschaftlichen Arbeitsprozess. Nachdem in einem ersten Schritt Informationen (auch aus Experimenten) gesammelt, ausgewertet und geordnet worden sind, können an diesen Daten Hypothesen getestet werden. Nach erfolgreicher Überprüfung lassen sich mit ihrer Hilfe Gesetzmäßigkeiten erkennen und Theorien aufstellen. Für die Qualität einer Theorie ist es wichtig, dass nachvollziehbar ist, mit welchen Methoden gearbeitet wurde und unter welchen Voraussetzungen sie entstanden ist. Zudem sollte sie den jeweiligen Sachverhalt treffend erklären, vielleicht auch auf andere Fälle übertragbar sein und gegebenenfalls Planungen oder Prognosen ermöglichen.

Experimente durchführen
☞ **Arbeitsschritte**

1. Problemfindung
- Arbeiten Sie z. B. im Rahmen ihres Geographieunterrichts ein geographisches Phänomen bzw. Problem heraus.
- Entwickeln Sie eine experimentelle Fragestellung.

2. Planung des Experiments
- Entwickeln Sie eine Hypothese (und evtl. Gegenhypothese) als möglichst naturwissenschaftliche Kausalbeziehung („Wenn..., dann ...“, „Je..., desto...“).
- Planen Sie das Experiment (Material, Aufbau, Ablauf).

3. Durchführung des Experiments
- Führen Sie das Experiment sorgfältig praktisch durch.
- Beobachten Sie den Ablauf, führen Sie evtl. Messungen und Kontrollversuche durch.
- Dokumentieren Sie die Beobachtungen und skizzieren Sie den Versuchsaufbau.

4. Auswertung der Ergebnisse
- Arbeiten Sie die Ergebnisse aus den protokollierten Daten rechnerisch bzw. graphisch heraus.
- Überprüfen Sie die Hypothesen und bestätigen Sie diese. Bei Widerlegen der Hypothesen entwickeln Sie Alternativen sowie ein angepasstes Forschungsdesign.

5. Anwendung der Erkenntnisse
- Bewerten Sie die Vertrauenswürdigkeit der erhobenen Daten.
- Leiten Sie Regel- bzw. Gesetzmäßigkeiten aus den Ergebnissen ab.
- Vergleichen Sie Ihre Erkenntnisse mit der Realität.

6. Reflexion
- Hinterfragen Sie Ihr eigenes Vorgehen.

M2 Schelfeis in der Artkis

M4 Gletscher und Festlandeis in der Antarktis

1. Problemfindung
Durch die steigenden globalen Durchschnittstemperaturen schmelzen das Schelfeis in der Arktis (M2) und die Gletscher in der Antarktis (M4). Dadurch wird sich der globale Meeresspiegel erhöhen.

2. Planung des Experiments

Hypothese: Je mehr Eis in Arktis und Antarktis schmilzt, desto mehr wird sich der globale Meeresspiegel erhöhen.

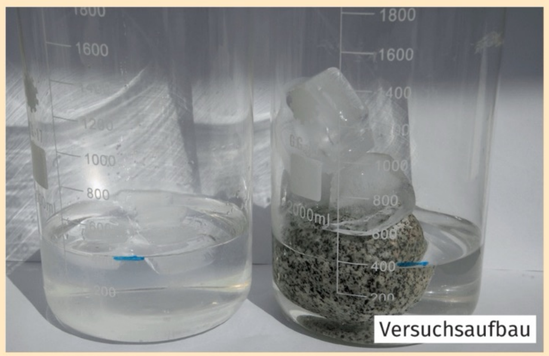
Material: zwei gleiche Bechergläser (z. B. mit einem Fassungsvermögen von 2000 ml), mehrere Eiswürfel, ein Stein, zwei farbige wasserfeste Stifte, Wasser

3. Durchführung des Experiments
a) Legen Sie den Stein in das Glas 1 und die Hälfte der Eiswürfel darauf. Die Würfel dürfen nicht abgleiten. Füllen Sie in das Glas Wasser: Die Oberfläche mit den Eiswürfeln liegt noch über der Wasseroberfläche. Markieren Sie den Wasserstand mit Folienstift 1.
b) Markieren Sie an Glas 2 den Wasserstand von Glas 1. Legen Sie den Rest der Eiswürfel in Glas 2. Füllen Sie Wasser bis zur Markierung.
c) Markieren Sie mit Folienstift 2 den Wasserstand beider Gefäße nach der Schmelze.
d) Protokollieren Sie den Verlauf bzw. das Ergebnis.

4. Auswertung der Ergebnisse
In dem Becherglas, in dem die Eiswürfel direkt im Wasser schwimmen, verändert sich der Wasserspiegel nach dem Schmelzen nicht. In dem Becherglas, in dem die Eiswürfel auf den Steinen lagen, erhöht sich nach dem Schmelzen der Wasserstand.
Die Hypothese lässt sich durch das Experiment daher nur teilweise bestätigen.

5. Anwendung der Erkenntnisse
Auf einen eintauchenden Eiswürfel wirkt eine Auftriebskraft, die dem Betrag nach der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit entspricht (archimedisches Prinzip). Ein Schmelzen des Eiswürfels verändert daher den Wasserstand nicht.
Daraus folgt: Ein Schmelzen des schwimmenden Schelfeises in der Arktis bewirkt keinen Meeresspiegelanstieg.
Anders jedoch beim ersten Glas: Hier fließt zusätzliches Wasser vom Stein in das Glas, sodass der Wasserstand steigt.
Fazit: Ein Abschmelzen von Gletschern in der Antarktis wird daher den globalen Meeresspiegel ansteigen lassen.

6. Reflexion
Nicht bedacht bei diesem Experiment wurde die Tatsache, dass es sich bei dem Meerwasser um Salzwasser handelt. Auch die größere Ausdehnung von warmem gegenüber kaltem Wasser findet keine Berücksichtigung.



M3 Experiment zur Eisschmelze

Eine Präsentation gestalten und vortragen

„Das menschliche Gehirn ist eine großartige Sache. Es funktioniert bis zu dem Zeitpunkt, wo du aufstehst, um eine Rede zu halten." (Mark Twain)

Ein Thema präsentieren zu können wird heute in den meisten Berufen vorausgesetzt und will daher geübt werden. Mithilfe einer Präsentation wird ein Publikum in strukturierter Darstellung zu einem Thema informiert. Im Fach Geographie orientiert sich der Vortrag an einer problemorientierten, zentralen Fragestellung, deren Erörterung es herauszuarbeiten, zu begründen und zu beurteilen gilt. Neben dem Inhalt sind die Körpersprache und Stimme des Präsentierenden bedeutsam. Das Interesse des Publikums wird durch geschickte Visualisierung geweckt. Medien wie zum Beispiel Computer bzw. Dokumentenkamera mit Beamer, Tafel, Whiteboard oder Flipchart können eingesetzt werden, wobei einige Prinzipien zu beachten sind (M2).

Zitieren: Kennzeichnen Sie wörtliche Übernahmen bzw. Zitate von Personen und nennen Sie jeweils die Quelle.

Quellen: Beachten Sie das Urheberrecht bei allen Materialien, die in der Präsentation eingesetzt werden.
Für jedes Bild oder jede Graphik müssen die Quellen angegeben werden. Wenn der Vortrag außerhalb der Schule stattfindet oder veröffentlicht werden soll, müssen für Abbildungen die Bildrechte eingeholt werden. Innerhalb der Schule reicht die Quellenangabe.
Erstellen Sie ein Quellenverzeichnis für den abschließenden Überblick (Zitierweise ▸S. 228: M3).

M1 Zitate und Quellen in einer Präsentation

Eine Präsentation gestalten und vortragen
☞ Arbeitsschritte

1. Eine Präsentation planen
- Planen Sie den Inhalt mithilfe von Kreativitätstechniken (z. B. Brainstorming) und Recherchen (z. B. Fachliteratur, Internet).
- Entwickeln Sie eine interessante Fragestellung. Berücksichtigen Sie dabei den Kenntnisstand der Zuhörerinnen und Zuhörer.
- Entwickeln Sie den Programmablauf. Beachten Sie dabei Zeitrahmen und Raumausstattung (z. B. Medien).

2. Die Präsentation strukturieren
- Bereiten Sie die Inhalte sachlogisch strukturiert auf.
- Entwickeln Sie den roten Faden des Vortrags:
  - Begrüßung: Nennen Sie das Thema bzw. die Fragestellung des Vortrags und erstellen Sie eine Grobgliederung.
  - Einstieg: Problematisieren Sie das Thema durch einen spannenden Einstieg, der zur Fragestellung hinführt und beim Publikum Interesse weckt (z. B. Zitat, Bild). Als Start eignet sich ein sogenannter *Icebreaker*, z. B. Bild, Karikatur, Schlagzeile bzw. aktuelle Meldung.
  - Hauptteil: Erörtern Sie die Thematik mit geeigneten Überleitungen bzw. Rückbezügen. Visualisieren Sie die Inhalte mit passenden Materialien (M2).
  - Ausstieg: Entwickeln Sie ein zusammenfassendes Fazit (z. B. als Wirkungsgefüge) bzw. eine persönliche Position, um an die im Einstieg aufgeworfene Problemstellung anzuknüpfen. Enden Sie zum Beispiel mit einer Schlusspointe und dem Dank für die Aufmerksamkeit.

3. Die Präsentation gestalten
- Erarbeiten Sie die Inhalte. Vergessen Sie den roten Faden dabei nicht.
- Erstellen Sie eine Gliederung, die Sie auch zu Beginn der Präsentation vorstellen.
- Stellen Sie (selbst gestaltete) Materialien zusammen (z.B. Mindmap, Diagramm, Karten).
- Legen Sie bei einem Präsentationsprogramm das Layout und die Gestaltung fest.

4. Die Präsentation üben
- Trainieren Sie die freie Rede und achten Sie dabei auf einen sprachlich und fachlich korrekten Vortrag, den Blickkontakt zum Publikum, freundliche Mimik, natürliche Gestik, freie Handhaltung, aufrechten Stand in entspannter Grundhaltung sowie gutes Zeitmanagement. Siehe auch M3 und M4.
- Überprüfen Sie die Raum- und Medientechnik.

5. Die Präsentation durchführen
- Achten Sie auf ein gepflegtes Äußeres und einen respektvollen Umgang mit den Zuhörerinnen und Zuhörern.

6. Die Präsentation nachbereiten
- Reflektieren Sie die Präsentation inhaltlich/methodisch in der Diskussion, beim Kolloquium bzw. Feedback.

1. Schrift
a) Schriftgröße
- Die Schrift sollte auch aus der letzten Reihe gut lesbar sein.
- Schriftgrößen: mehr als 12-Punkt bei Dokumenten, mehr als 24- bis 40-Punkt bei digitalen Präsentationsfolien bzw. mehr als 72- bis 100-Punkt bei Clusterkarten

b) Schriftart
- Groß- und Kleinbuchstaben
- eng und blockartig
- Druckschrift
- möglichst gerade schreiben

c) Schriftstil beibehalten (z. B. gleiche Schriftart)

2. Farben
- Farben begründet verwenden
- → Signalfarben (Rot, Orange), neutrale Farben (Grün, Blau)
- → Prinzipien einhalten (z. B. Überschriften hervorheben)
- → kontrastreiche Farben verwenden
- maximal drei Farben pro Dokument, Folie oder Plakat verwenden

3. Layout
- Wichtiges zentralisieren
- Sonderelemente (z. B. Graphiken) eher rechtshälftig anordnen
- Texte strukturieren: Überschriften hervorheben, Stichworte bzw. kurze Sätze verwenden, Grundsatz: so viel wie nötig und so wenig wie möglich
- Tabellen systematisieren: klare Struktur der Vorspalte und Kopfzeile, Legende, maximal fünf bis sieben Spalten und Zeilen
- Dokument/Folien /Plakat/Abbildung mit Überschrift versehen
- bei Präsentationsprogrammen:
  - Masterfolien anlegen
  - Inhalte in Stichpunkten auf die Folie bringen, den Text formulieren die Referierenden bei der Präsentation
  - Folien nicht überfrachten (Inhalte stehen im Vordergrund, nicht die Gestaltungsmöglichkeiten, wie z. B. Animationen, unterschiedliche Schriftarten oder Folienübergänge)

M2 Prinzipien wirkungsvoller Visualisierung

Gezielte Vorbereitung	Vor dem Vortrag	Wenn der Vortrag stockt	Karteikarten als Absicherung
• Vortrag üben, am besten vor befreundeten Personen, die Feedback geben können • Zeit dabei stoppen, damit die Vorgaben eingehalten werden • Feedback bzw. erkannte Verbesserungsmöglichkeiten umsetzen • Anfangs- und Schlusssatz auswendig lernen, aber auf keinen Fall den gesamten Vortrag	• Atem- bzw. Lockerungsübungen zur Entspannung machen • Ruhe und Konzentration suchen oder sich mit einem Gespräch ablenken • Kleidung tragen, in der Sie sich wohlfühlen, das gibt Sicherheit	• Ruhe bewahren • auf der Folie noch mal neu ansetzen oder den aktuellen Punkt als Ausgangspunkt zusammenfassen und damit neu starten • Blick auf die Karteikarten, um sich zu orientieren	• nur Stichpunkte und Pfeile auf die Karteikarten schreiben, keine ganzen Sätze notieren • nur eine Seite der Karteikarte beschriften • große Schrift verwenden und Lesbarkeit testen • Karteikarten mit Regieanweisungen versehen (z. B. zum Medieneinsatz) • Karteikarten zur Sicherheit nummerieren, um den Überblick und die schnelle Orientierung zu ermöglichen

M3 Tipps für eine Präsentation

Gestik und Haltung	Mimik	Stimme
• Stehen Sie fest auf beiden Beinen – lehnen Sie sich nicht an. • Ihr Standort ist zentral, nicht am Rand des Raumes. • Halten Sie die Hände vor dem Körper, verschränken Sie die Arme nicht. Stift, Laserpointer oder Kärtchen helfen dabei. • Gesten unterstützen die Anschaulichkeit der Darstellung. • Halten Sie den Vortrag aktiv: Sie haben ihn gut vorbereitet und sind selbst davon überzeugt.	• Schauen Sie die Zuhörerinnen und Zuhörer freundlich an. • Blicken Sie die Zuhörerinnen und Zuhörer an, ohne einzelne Personen zu fixieren. Ein Blick ins Publikum schafft Verbindlichkeit.	• Passen Sie die Lautstärke Ihrer Stimme an die Raumgröße an. • Überlegen Sie, welche Begriffe oder Aussagen Sie hervorheben wollen. • Achten Sie auf das Sprechtempo und setzen Sie Pausen, um Inhalte zu betonen.

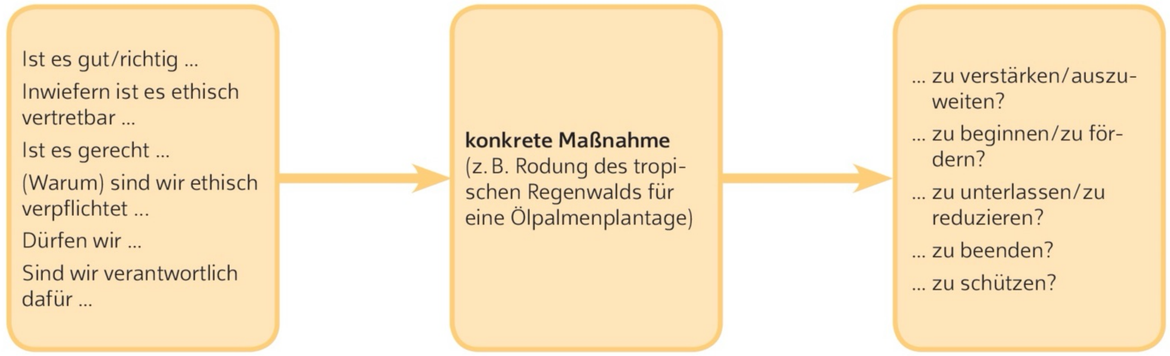
M4 Worauf Sie beim Halten der Präsentation achten sollten

Ethische Fragestellungen formulieren

Viele aktuelle Themen im Geographieunterricht weisen eine doppelte Komplexität auf, d.h., sie sind sowohl faktisch als auch ethisch herausfordernd. Bewerten und Beurteilen stellen also zentrale Kompetenzen dar. Hierfür ist es wichtig, ethische Fragestellungen erkennen und formulieren zu können.

Eine ethische Frage ist eine Frage, die danach fragt, wie man leben oder handeln soll.

Häufig bestehen ethische Fragen aus drei Bausteinen, die bei der Formulierung helfen:



Beispiel: Ethische Fragenstellungen zum Themenkomplex „Rindfleisch und Regenwald“

- Dürfen Regenwaldgebiete gerodet werden, um Platz für Sojaplantagen und Rinderfarmen zu schaffen?
- Inwiefern ist es ethisch vertretbar, Rindfleisch zu essen, wenn dadurch dem Klima geschadet wird?
- Sind wir ethisch dazu verpflichtet, Regenwaldgebiete zu schützen?
- Ist es sozial gerecht, wenn die Preise für Fleischprodukte erhöht werden, um das Klima zu schützen?

M1 Rinderfarm in Brasilien

M2 Sojaplantage – Futter für heimische Rinder

Eine Exkursion planen und durchführen

Auf Exkursionen werden geographische Erscheinungen und Sachverhalte in ihrer originalen Form vermittelt, die sonst im Unterricht nur mithilfe von Texten, Diagrammen, Bildern oder Karten behandelt werden. Durch diesen Unterricht vor Ort ist es möglich, bildhafte und konkrete Vorstellungen von Begriffen, Vorgängen und Zusammenhängen zu erhalten und die Umwelt bewusst zu erleben. Dabei können sowohl naturräumliche Aspekte (z. B. Relief, Gewässer, Boden, Wetter) als auch wirtschafts- und sozialgeographische Aspekte (z. B. geschichtliche Entwicklung, wirtschaftliche Nutzung, Bevölkerungsstruktur, Infrastruktur) einer Region mithilfe unterschiedlicher geographischer Arbeitstechniken untersucht werden (M4).

- Alpenraum, Alpenvorland, Mittelgebirge: Untersuchung von Relief, Besonderheiten des Klimas (▸S. 17), Gewässernetz, Verwitterungsformen (▸S. 162), Hangbewegungen (▸S. 166/167) inkl. Schutzmaßnahmen (▸S. 168/169), fluviatilen und glazialen Formen (▸S. 163), Höhenstufen, Landschaftsformen, Verkehrsbelastung (▸S. 176/177), touristischer Überformung (▸S. 180/181), nachhaltigen Nutzungsformen (▸S. 184–187)
- Flüsse bzw. Flussufer: Untersuchung von Fließgeschwindigkeit, Erosionsformen (▸S. 163), Hochwasserschutzmaßnahmen (▸S. 140/141)
- Wälder: Untersuchung von Waldschäden bzw. des Bewaldungsgrades (▸S. 144/145), Nutzung und Funktionen des Waldes (▸S. 142/143)
- Ländlich geprägte Räume: Untersuchung von Bodenprofilen (▸S. 149), Formen der Bodendegradation (▸S. 149), Art der Flächennutzung (▸S. 146/147), landwirtschaftlichen Betrieben
- Städtische Räume: Untersuchung von Verkehrsflüssen, Nutzungen städtischer Gebäude, Entwicklungen von Stadtvierteln

M3 Mögliche Untersuchungsräume (Auswahl)

- Skizzieren von Höhen- und Bodenprofilen
- Erstellen eines Kausalprofils
- Messung von Hangneigungen
- Anfertigen von Wegskizzen
- Zeichnen typischer Landschaftsprofile
- Messen der Fließgeschwindigkeit von Flüssen, von Lufttemperatur, der Schadstoffbelastung oder des Lärmpegels (sofern Ausrüstung vorhanden)
- Zählen von Verkehrsströmen (Fahrzeuge pro Minute),
- Fotografieren und Dokumentieren ausgewählter Punkte
- Nutzungskartierung
- Befragung von Passanten oder Expertinnen u. Experten

M4 Arbeitstechniken bei einer Exkursion (Auswahl)

Planung und Durchführung einer Exkursion
☞ Arbeitsschritte

1. Planung
Gemeinsame Festlegung des Exkursionsraumes und der zu untersuchenden Themen von Schülerinnen und Schülern sowie der Lehrkraft (M3)

a) Organisatorische Fragen
- Wo befindet sich das Ziel? Wie bzw. mit welchen Verkehrsmitteln kann es erreicht werden?
- Müssen ggf. die Öffnungszeiten berücksichtigt werden?
- Welcher zeitliche Aufwand ist notwendig (eintägig, zweitägig)?
- Welche Kosten sind damit verbunden?
- Ist eine Terminvereinbarung (z. B. mit Behörden, Instituten) nötig?
- Welche Kleidung bzw. Ausrüstung wird benötigt (z. B. bei einer Alpenexkursion)?
- Welche Materialien werden benötigt (z. B. Smartphone, Karten, Messgeräte, ggf. Klappbrett, Block, Stifte)?

b) Inhaltliche bzw. methodische Fragen
- Was ist bislang über den Raum bekannt? → Literaturstudium und Internetrecherche vorab
- Welche Methoden sind nötig, um die geplanten Themen zu untersuchen? Müssen die Methoden ggf. noch mal geübt werden (z. B. Profilskizze zeichnen)?

2. Durchführung
- Anwenden der besprochenen Methoden
- Anfertigen von Protokollen, (Karten-)Skizzen, Fotos, ggf. Tonaufnahmen

3. Auswertung, Dokumentation und Präsentation

a) Mögliche Fragen bei der Auswertung des Materials
- Welche Zusammenhänge konnten festgestellt werden?
- Wie passen Beobachtungen zu dem im Unterricht theoretisch Erarbeiteten?
- Welche Überraschungen, Auffälligkeiten oder Widersprüche gab es? Wie sind diese zu erklären?
- Welche Fragen konnten nicht beantwortet werden?

b) Dokumentation der Ergebnisse
- z. B. in Form eines Lernplakats, einer digitalen Präsentation, eines Videos

c) Präsentation der Ergebnisse
- z. B. Gallery Walk: Präsentation der Ergebnisse als Ausstellung (Galerie)
- z. B. Kurzreferat

4. Reflexion
- kritische Nachbetrachtung: Positives, Fehler oder Schwierigkeiten in der Planungsphase, bei der Methode und der Präsentation
- Sammeln von Optimierungsideen

Eine Klausur vorbereiten und schreiben

Schriftliche Leistungskontrollen dienen der Überprüfung inhaltlicher und methodischer Kompetenzen. Deren operationalisierte Aufgaben orientieren sich an den drei Anforderungsbereichen des Operatorenkatalogs (▸ S. 243). Jeder Operator gibt an, was wie verlangt wird. Jede Aufgabe gibt Auskunft über den thematischen Hintergrund und enthält Zusatzinformationen wie Materialhinweise. Folgende Arbeitsschritte bzw. Strategien und Tipps in der Vorbereitung und während der Bearbeitung schriftlicher Aufgaben unterstützen ein erfolgreiches Ergebnis.

Eine Klausur vorbereiten und schreiben
☞ Mögliche Arbeitsschritte

1. Eine Klausur vorbereiten
- Planen Sie für Wiederholungen und Übungen mehrere Tage ein.
- Bereiten Sie sich zeitweise in Kleingruppen vor.
- Überprüfen Sie Ihre Inhaltskenntnisse mithilfe der Fachbegriffe.
- Nutzen Sie Ihre Mitschriften, die Unterrichtsmaterialien, das Lehrbuch und den Atlas zur Wiederholung.
- Stellen Sie die inhaltlichen Zusammenhänge der Fachbegriffe als Mindmap dar.
- Trainieren Sie die Methoden mit dem Methodenanhang in diesem Buch (▸ S. 210–241).
- Bringen Sie notwendige Hilfsmittel mit: Bleistift, Radiergummi, Lineal, Farbstifte, Textmarker, Taschenrechner, Uhr.

2. Eine Klausur bearbeiten
- Überprüfen Sie den Einleitungstext zur Aufgabe hinsichtlich Thema, Schwerpunkt und Raumbezug.
- Lesen Sie die Aufgaben und markieren Sie Operatoren, thematische und methodische Begriffe mit Farben.
- Ordnen Sie das Beispiel mithilfe des Atlas räumlich ein.
- Erstellen Sie eine Stichwortliste zu den Teilaufgaben.
- Analysieren Sie das Material. Behalten Sie die Aufgabenstellung der Teilaufgaben und den Zeitplan im Auge.

3. Eine Klausur schriftlich ausarbeiten
- Verschaffen Sie sich einen Überblick über die Anforderungen und Materialien. Markieren Sie Auffälligkeiten.
- Legen Sie einen groben Zeitplan für die Beantwortung der Aufgaben fest, abhängig von den zeitlichen Vorgaben der Lehrkraft.
- Lesen Sie die Aufgaben sorgfältig durch. Notieren Sie spontane Anmerkungen.
- Überprüfen Sie den Atlas nach geeigneten Karten.
- Achten Sie beim Formulieren Ihrer Lösung auf das Anforderungsniveau der Operatoren.
- Entwickeln Sie sachlogisch strukturierte Lösungen ausschließlich in ganzen Sätzen, um die Zusammenhänge darzustellen.
- Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Vorwissen, Untersuchungsraum und Material her. Geben Sie Materialverweise an.
- Kennzeichnen Sie wörtliche Übernahmen aus Quellen als Zitate.
- Bearbeiten Sie die Teilaufgaben möglichst in der vorgegebenen Reihenfolge, da sie in der Regel aufeinander Bezug nehmen.
- Schließen Sie (besonders bei Anforderungsbereich 3) jede Teilaufgabe mit einem kurzen Fazit ab.
- Bei komplexen Aufgaben:
  – Entwickeln Sie eine Einleitung zur Gesamtaufgabe (z. B. topographische Einordnung) sowie zu jeder Teilaufgabe.
  – Gliedern Sie Ihre Ausführungen formal (Zwischenüberschriften, Absätze, nummerierte Aufzählungen, Leerzeilen, Seitenzahlen, Quellen verwendeter Atlaskarten).
- Verwenden Sie die korrekte Fachsprache.
- Vermeiden Sie unspezifische oder pauschale Aussagen.
- Verlieren Sie bei der schriftlichen Ausarbeitung niemals die Aufgabenstellung aus dem Auge.
- Geben Sie den Namen des Atlas und sein Erscheinungsjahr über den Aufgabenlösungen an.
- Verwenden Sie beim Erstellen von Zeichnungen, Diagrammen bzw. Tabellen Lineal und Farbstifte. Arbeiten Sie exakt, beschriften Sie hinreichend und entwickeln Sie eine Überschrift.
- Streichen Sie Falsches mit einem Lineal deutlich durch.
- Erklären Sie nicht gebräuchliche Abkürzungen einmalig.
- Kontrollieren Sie Ihre Lösungen u. a. auf Rechtschreibung und Grammatik.
- Planen Sie am Ende ausreichend Zeit zur Durchsicht ein.

4. Eine Klausur nachbereiten
- Analysieren Sie Ihre Fehler bzw. fehlenden Punkte (z. B. auf fehlendes Fachwissen, Ausführlichkeit der Darstellung, Art der Darstellung, Beachtung der Anforderungen in den Operatoren).
- Arbeiten Sie inhaltliche und methodische Defizite auf.

Die wichtigsten Arbeitsaufträge (Operatoren)

Anforderungsbereich 1: umfasst das Wiedergeben und Beschreiben von Inhalten und Materialien.

beschreiben
Geben Sie einen Sachverhalt schlüssig wieder.

bestimmen
Geben Sie Inhalte aus Materialien, zum Beispiel aus Tabellen, Schaubildern, Diagrammen oder Karten, genau wieder. Verwenden Sie hierfür Fachbegriffe.

nennen, benennen
Zählen Sie etwas ohne weitere Erklärung auf oder führen Sie Sachverhalte in knapper Form an.

zusammenfassen
Geben Sie Informationen oder Gelerntes in eigenen Worten wieder. Setzen Sie dabei Schwerpunkte.

Anforderungsbereich 2: umfasst das selbstständige Erklären, Bearbeiten und Ordnen bekannter Sachverhalte sowie das angemessene Anwenden gelernter Inhalte und Methoden auf andere Sachverhalte.

auswerten, analysieren
Untersuchen Sie Materialien und Sachverhalte gezielt. Geben Sie wichtige Sachverhalte und Zusammenhänge wieder.

begründen
Belegen Sie eine Aussage oder eine Behauptung oder die Ergebnisse Ihrer Analyse durch Tatsachen und Argumente.

charakterisieren
Machen Sie typische Merkmale deutlich.

darstellen, darlegen
Machen Sie einen Sachverhalt durch eine strukturierte und zusammenhängende Aussage deutlich.

einordnen, zuordnen
Bringen Sie einen Sachverhalt schlüssig in einen Zusammenhang mit einem vorgegebenen Thema.

erklären
Stellen Sie mithilfe Ihres Wissens die Zusammenhänge von Sachverhalten dar.

erläutern
Veranschaulichen Sie einen Sachverhalt mit Beispielen oder Belegen.

erstellen
Veranschaulichen Sie einen Sachverhalt durch eine Graphik oder Ähnliches.

herausarbeiten
Entnehmen Sie vorgegebenem Material Zusammenhänge oder Tatsachen.

vergleichen
Machen Sie sich die Merkmale klar, nach denen Sie vergleichen wollen, und arbeiten Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede heraus. Formulieren Sie auch ein Ergebnis.

Anforderungsbereich 3: umfasst den Umgang mit neuen Problemstellungen, eingesetzten Methoden und gewonnenen Erkenntnissen, um zu urteilen, zu bewerten und zu handeln.

beurteilen
Untersuchen Sie gezielt Aussagen oder Maßnahmen. Nennen Sie das Ziel Ihrer Untersuchung und die Merkmale, nach denen Sie untersuchen. Formulieren Sie ein Urteil und begründen Sie es durch Fakten.

bewerten, Stellung nehmen
Beurteilen Sie Aussagen oder Maßnahmen. Formulieren Sie aber zusätzlich Ihren eigenen Standpunkt.

diskutieren
Tragen Sie (im Kurs gemeinsam) Argumente zu einem Thema zusammen und nehmen Sie begründet Stellung.

entwickeln
Entwerfen Sie einen umfassenden, begründeten Lösungsvorschlag für ein vorgegebenes Problem.

erörtern
Wägen Sie zu einem vorgegebenen Problem zunächst Vorteile und Nachteile ab. Begründen Sie anschließend das Ergebnis dieser Abwägung.

gestalten
Stellen Sie zu einem vorgegebenen Problem zielgerichtet ein bestimmtes Produkt (Poster, Wandzeitung, Computerpräsentation, Portfolio) her.

überprüfen
Untersuchen Sie Aussagen auf ihre sachliche Richtigkeit. Begründen Sie anschließend das Ergebnis Ihrer Untersuchung.

absolute Feuchte (S. 76)
in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge, gemessen in Gramm Wasser pro Kubikmeter Luft

Absorption (S. 13)
Prozess des In-Sich-Aufnehmens, z. B. von Strahlung

Acrisol (S. 70)
auch: rotbrauner Savannenboden oder Rotlehm. Typischer Bodentyp in den →Wechselfeuchten Tropen mit Rotfärbung und jahreszeitlich wechselndem Bodenwasserstrom. Er weist Merkmale des →Latosols auf, ist jedoch fruchtbarer.

Advektion (S. 165)
horizontale Verlagerung von Luftmassen beim Druckausgleich durch Wind

Agrarkolonisation (S. 65)
Erschließung bisher ungenutzter Gebiete für die Landwirtschaft, oft in Verbindung mit Siedlungsneugründungen und Straßenbau, die vom Staat finanziell unterstützt werden

Agroforstwirtschaft (S. 66)
nachhaltige Form der Landwirtschaft (→*Ecofarming*), die im →tropischen Regenwald betrieben wird und Elemente der Forst- und Landwirtschaft kombiniert. Feldfrüchte werden dabei unter Bäumen angebaut, welche den Pflanzen als Schattenspender dienen und gleichzeitig Bodenerosion verhindern. →Stockwerkbau

Akkumulation (S. 163)
Ansammlung, z. B. von Verwitterungs- und Erosionsmaterial

Albedo (S. 13)
Anteil der Sonnenstrahlung, der von der Erdoberfläche reflektiert wird. Die Albedo kann Werte zwischen 0 und 1 haben und ist umso größer, je heller die Oberfläche ist.

alpine Stufe (S. 165)
Höhenstufe außertropischer Gebirge oberhalb der →Baumgrenze und oberhalb der →subalpinen Stufe, aber unterhalb der →nivalen Stufe. Hier wachsen Rasen- und Mattenpflanzen.

Altostratus (S. 120)
Schichtwolke in mittlerer Höhe der Atmosphäre (zwischen ca. 3 km und 6 km Höhe). Altostratuswolken entstehen an Warmfronten und bedingen anhaltenden Landregen.

Anökumene (S. 93)
die vom Menschen unbesiedelten Teile der Erde, wie zum Beispiel Polarregionen. Gegensatz: →Ökumene

Antarktisvertrag (S. 108)
internationales Abkommen, das 1959 in Kraft trat und die Antarktis als friedlichen Kontinent für wissenschaftliche Forschung und internationale Kooperation deklariert. Er verbietet militärische Aktivitäten, nukleare Tests und Abfallentsorgung in der Region.

anthropogener Treibhauseffekt (S. 42)
durch den Menschen verursachte Verstärkung des →natürlichen Treibhauseffektes durch Emission von Treibhausgasen wie beispielsweise Kohlenstoffdioxid (CO_2) oder Methan (CH_4); trägt maßgeblich zur globalen Erwärmung bei.

Anthroposphäre (S. 10)
der vom Menschen gestaltete und genutzte Raum

Anthropozän (S. 10)
von Paul Crutzen (Nobelpreisträger für Chemie) geprägter Begriff für das aktuelle Erdzeitalter. Die Bezeichnung berücksichtigt die gewaltigen Einflüsse des Menschen auf die natürlichen Prozesse, welche sich z. B. im rezenten →Klimawandel zeigen.

Antipassat (S. 22)
Luftströmung, die meist polwärts gerichtet ist. Der Antipassat ist ein schwacher, aber in mächtiger Schicht auftretender Strom über den Passatwinden.

Antizyklone (S. 25, 26)
Gebiet mit hohem Luftdruck und absinkender Luftbewegung (Hochdruckgebiet); dreht sich aufgrund des →Corioliseffekts auf der Nordhalbkugel mit dem Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn. Gegensatz: →Zyklone.

äquatoriale Tiefdruckrinne (S. 22)
→Innertropische Konvergenzzone (ITC)

Asthenosphäre (S. 158)
oberer, zähflüssiger Teil des Erdmantels bis in eine Tiefe von ca. 200 km. In der Asthenosphäre sind die →Konvektionsströme zu finden. Auf ihr bewegen sich die starren Platten der →Lithosphäre.

Atmosphäre (S. 10, 12)
gasförmige, mehrschichtige Lufthülle der Erde, die die Erde vor Strahlung aus dem Weltall schützt. In der untersten Schicht, der →Troposphäre, spielen sich die Wettervorgänge ab.

atmosphärische Zirkulation (S. 26)
globale Zirkulation und Austausch von unterschiedlich temperierten Luftmassen. →Drei-Zellen-Modell

Azorenhoch (S. 38)
sehr beständiges Hochdruckgebiet im Bereich der Azoren. Es ist im Sommer für Mitteleuropa oft wetterbestimmend.

Baumgrenze (S. 165)
Grenzsaum, über den hinaus aufgrund des Gebirgsklimas keine Bäume mehr wachsen

Beleuchtungszone (S. 14)
auch: strahlungsklimatische Klimazone. Aufteilung der Erde in drei große Beleuchtungszonen entsprechend der unterschiedlichen Intensität der Sonneneinstrahlung. Die drei Zonen sind die →polare Zone (flacher Einfallswinkel), die →Mittelbreiten und die →Tropen (steiler Einfallswinkel bis hin zum →Zenit).

Binnenwüste (S. 77)
Wüste im Inneren eines Kontinents. Die Wüstenbildung erfolgt aufgrund der Niederschlagsarmut, die durch die große Meeresferne oder abschirmende Gebirgszüge bedingt wird, an denen sich die feuchte Luft vom Meer bereits abgeregnet hat (→ Steigungsregen).

Biokapazität (S. 68)
Fähigkeit von Ökosystemen, dauerhaft nutzbares Material (Nahrung) zur Verfügung zu stellen und den entstehenden Abfall dauerhaft aufzunehmen

Biosphäre (S. 10)
Teil der Landschaftshülle der Erde, der von lebenden Organismen bewohnt wird

Bodenart (S. 218)
Einteilung eines Bodens nach Korngröße der mineralischen Bestandteile im Boden. Hierbei unterscheidet man Sand-, Lehm-, Schluff- und Tonboden.

Bodendegradation (S. 65, 80)
Verschlechterung oder Verlust des Bodens durch landwirtschaftliche Übernutzung, wie z. B. Überweidung oder Waldrodung, und natürliche Einflüsse, wie zum Beispiel Starkniederschläge oder Wind. Bodendegradation führt zur Veränderung der Struktur und stofflichen Zusammensetzung des Bodens sowie zum Nachlassen der Bodenfruchtbarkeit.

Bodenhorizont (S. 148, 218)
mehr oder weniger parallel zur Erdoberfläche verlaufende und mit verschiedenen Merkmalen ausgestattete Bodenschicht mit unterschiedlicher Mächtigkeit

Bodenprofil (S. 218)
Querschnitt durch den typisch schichtartigen Aufbau des Bodens. Dabei lassen sich meist drei Horizonte erkennen: A-Horizont (humushaltiger, meist dunkler Oberboden), B-Horizont (etwas hellerer Unterboden), C-Horizont (unverwittertes Ausgangsgestein).

Bodentyp (S. 148, 218)
grundlegende Einteilung der Böden, welche die Gesamtheit der bodenbildenden Faktoren berücksichtigt. Der Bodentyp orientiert sich zumeist an der im →Bodenprofil sichtbar werdenden Abfolge der →Bodenhorizonte.

Bodenversalzung (S. 127)
durch Verdunstung von Bewässerungswasser bedingte Anreicherung zuvor gelöster Salze im Oberboden. Zur Bodenversalzung kommt es auch, wenn aufsteigendes Grundwasser gelöste Salze mit nach oben führt. Nach der Verdunstung des Wassers bleibt das Salz auf der Bodenoberfläche zurück, bildet eine Salzkruste und führt zur Unfruchtbarkeit des Bodens.

Boreale Zone (S. 93, 118)
Zone des kaltgemäßigten Klimas auf der Nordhalbkugel mit den Landschaftstypen Waldtundra und →borealer Nadelwald. Sie wird von manchen Forschenden auch der →Subpolaren Zone zugeordnet.

borealer Nadelwald (S. 20, 119)
Vegetationszone auf der Nordhalbkugel. Die langen und kalten Winter lassen nur einen artenarmen Nadelwald zu. Kennzeichnende Bäume sind u. a. Fichten, Kiefern, Tannen und Lärchen. Laubbäume treten nur vereinzelt auf (z. B. Birke, Erle) und zeichnen sich durch kleine Blätter aus.

Braunerde (S. 148)
Bodentyp, der in den →Mittelbreiten sehr verbreitet ist. Der Boden ist reich an →Humus, schwach sauer bis neutral und fruchtbar.

Brettwurzel (S. 59)
bis zu zehn Meter hohe, sternförmig angeordnete Wurzel, die den hohen Bäumen im tropischen Regenwald Standfestigkeit verleiht

Caldera (S. 200)
großräumiger vulkanischer Kessel, der durch →explosiven Vulkanismus oder durch den Einsturz des Gipfels nach Entleerung der Magmakammer entstanden ist

Cash Crops (S. 65)
landwirtschaftliche Produkte, die für den Export produziert werden. Dazu zählen z. B. Kaffee, Bananen oder Baumwolle.

chemische Verwitterung (S. 77)
Zersetzung von Gestein durch chemische Prozesse wie Lösungs- oder Oxidationsprozesse

Cirrus (S. 120)
Schleierwolke oder Eiswolke, die eine feinfaserige Struktur aufweist, häufig streifenförmig angeordnet ist und in der hohen Troposphäre zu finden ist. Cirruswolken können als Vorboten einer Warmfront einen Wetterumsturz anzeigen.

CO_2-Quelle (S. 43)
Herkunft von Kohlenstoff bzw. CO_2. Zum Beispiel wird durch Verbrennung von in Torf, Kohle oder Erdöl abgelagertem Kohlenstoff dieser wieder freigesetzt.

CO_2-Senke (CO_2-Speicher) (S. 43)
ein Reservoir, das Kohlenstoff speichert. Wälder sind zum Beispiel Kohlenstoffspeicher, Kohlenstoff wird in Form von Kohlenstoffdioxid von Pflanzen aufgenommen. Weitere CO_2-Senken sind Moore, →Mangroven, →Steppen oder Ozeane. →Kohlenstoffkreislauf

Corioliseffekt (S. 22, 24)
aus der Erdrotation resultierende Scheinkraft, die unter anderem Winde und Meeresströmungen auf der Nordhalbkugel nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links ablenkt. Die Stärke der Ablenkung nimmt dabei vom Äquator zu den Polen hin zu. →Passat

Cryosol (S. 94)
Bodentyp, der in arktischen, antarktischen und Hochgebirgsregionen vorkommt und von Prozessen wie Gefrieren und Auftauen geprägt ist. Cryosols haben eine ausgeprägte Schichtung von gefrorenem Boden (→Permafrost) und saisonal auftauenden Bereichen.

Cumulus (S. 121)
Haufenwolke oder Quellwolke mit sehr hoher Senkrechterstreckung (in den Tropen bis zu 20 km). Sie entstehen an warmen Tagen über Aufwärtsströmungen der Luft und gelten daher als Schönwetterwolken. Beim Wachsen in höhere Schichten der Troposphäre vereisen die Quellwolken an der Obergrenze und entwickeln sich so zu Gewitterwolken.

Decke (S. 160)
Gesteinspaket, das im Prozess der Gebirgsbildung oft kilometerweit über andere Gesteinsschichten geschoben wurde

Desertifikation (S. 80)
Landschaftswandel in Trockengebieten, der unter anderem durch menschliches Einwirken (falsche oder zu starke Nutzung) ausgelöst wird und die Ausbreitung der Wüste begünstigt

Desilifizierung (S. 61)
Prozess, bei dem im Boden Silikate gelöst und ausgewaschen werden und in den Unterboden verlagert werden. Dieser Prozess ist typisch für den →Latosol.

Detersion (S. 163)
Prozess des Schleifens und Schrammens eines →Gletschers am Gesteinsuntergrund. Dies geschieht durch an der Unterseite des Gletschers eingefrorene Grobsedimente. →Gletscherschliff

Detraktion (S. 163)
auch: *Plucking*. Herausbrechen von Gesteinsstücken, die an der Gletscherunterseite angefroren sind

divergierende Plattengrenze (S. 159, 194)
auch: konstruktive Plattengrenze. Grenze, an der zwei Lithosphärenplatten voneinander wegdriften. Neue Erdkruste wird an →mittelozeanischen Rücken gebildet und es kommt zu →Seafloor Spreading.

Dornstrauchsavanne (S. 70)
auch: Dornsavanne. Eine der drei Formen der →Savanne. Der Boden ist aufgrund der wenigen humiden Monate (zwischen 2 und 4 Monate pro Jahr) nur teilweise mit niedrigem Gras und Dorngestrüpp bedeckt. Die Sträucher tragen Dornen und kleine Blätter und schützen sich damit vor zu starker Verdunstung.

Downwelling (S. 32)
Teil der →thermohalinen Zirkulation, bei dem warmes Oberflächenwasser sich abkühlt, schwerer wird und in tiefere Schichten des Meerwassers verlagert wird

Drei-Zellen-Modell (S. 26)
→atmosphärische Zirkulation, die in drei Zellen abläuft. Es berücksichtigt im Gegensatz zum →Ein-Zellen-Modell auch die Erdrotation und den →Corioliseffekt. Auf diese Weise entstehen drei große Zirkulationszellen, die →Hadleyzelle, die →Ferrelzelle und die →Polarzelle.

Ecofarming (S. 66)
landwirtschaftliche Anbaumethode, bei der der Boden agrarisch nachhaltig und standortgerecht genutzt wird. Das Ziel ist es, das Ökosystems nicht zu übernutzen. Eine Form im →tropischen Regenwald ist die →Agroforstwirtschaft.

effektive Klassifikationen (S. 19)
Gliederung der atmosphärischen Verhältnisse durch die Kombination einzelner Klimaerscheinungen (z. B. Temperatur oder Niederschlag)

effusiver Vulkanismus (S. 200)
kontinuierlicher Austritt von Magma aus dem Erdinneren. Diese Art des Vulkanismus zeichnet sich durch eine geringere Viskosität der Lava und eine geringe Explosivität aus. Gegenteil: →explosiver Vulkanismus

Ein-Zellen-Modell (S. 26)
Vereinfachung der →atmosphärischen Zirkulation. Wenn die Erde sich nicht drehen würde, gäbe es nur eine große Zirkulationszelle vom Äquator bis zu den Polen.

Ekliptik (S. 14)
gedachte Sonnenbahn am Erdenhimmel. Die Ebene der Ekliptik ist identisch mit der Ebene, auf der die Erde die Sonne umläuft. Durch die Neigung der Erdachse steht die Ebene der Ekliptik in einem Winkel von 23,5° zur Äquatorebene (Schiefe der Ekliptik).

El-Niño (S. 36)
natürliches Klimaphänomen im tropischen Pazifik. Alle drei bis sieben Jahre um die Weihnachtszeit kommt es zu Veränderungen der zyklischen Meeresströmungen und atmosphärischen Strömungen, was in Südostasien zu ausbleibenden Niederschlägen und damit zu Dürren führt. Vor den Küsten Südamerikas stirbt hingegen das Plankton und Fischschwärme bleiben aus. →Walker-Zirkulation

Emissionshandel (S. 48)
Handel mit Emissionszertifikaten zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen. Staaten oder Firmen ist es erlaubt, ihre Emissionsrechte (Mengen der erlaubten Treibhausgasproduktion) weiterzuverkaufen. Reduziert ein Staat oder Unternehmen seine Emissionen mehr als erforderlich, kann dieser Überschuss an Staaten oder Unternehmen verkauft werden, die zu viele Treibhausgase produzieren.

Endmoräne (S. 163)
die von einem →Gletscher abgelagerten Schuttmassen, die der Gletscher vor sich herschiebt und die nach Abschmelzen des Gletschers als wallartige Hügel in der Landschaft bestehen bleiben

endogen (S. 162)
Bezeichnung für von innen auf die Erdoberfläche wirkende Kräfte, die z. B. zu →Erdbeben oder →Orogenese führen. Gegenteil: →exogen

Epiphyt (S. 59)
Pflanze, die nicht auf dem Boden lebt, sondern auf anderen lebenden oder abgestorbenen Pflanzen. So spart sie Energie, da sie keinen eigenen Stamm aufbauen muss. Zu den Epiphyten gehören z. B. Farne, Moose oder Orchideen.

Epizentrum (S. 195)
Stelle an der Erdoberfläche senkrecht über dem →Hypozentrum. →Erdbeben

Erdbeben (S. 194)
Erschütterung der Erdoberfläche, die meistens durch ruckartige Bewegungen der Erdplatten, aber auch durch →Vulkanismus oder Einstürze verursacht wird. Die meisten Erdbeben ereignen sich entlang der Plattengrenzen.

Erosion (S. 80, 163)
Abtragung von Boden oder Gestein durch fließendes Wasser, Eis oder Wind

Evaporation (S. 70)
Verdunstung von Wasser an der Bodenoberfläche oder auf Wasserflächen

exogen (S. 162)
Bezeichnung für von außen auf die Erdoberfläche wirkende Kräfte, wie Wind, Wasser oder Eis. Zum Beispiel führen exogene Prozesse zu →Erosion und →Verwitterung. Gegenteil: →endogen

Exosphäre (S. 12)
die in 300 – 400 km Höhe beginnende oberste Schicht der →Atmosphäre. In der Exosphäre vollzieht sich der allmähliche Übergang zum luftleeren Weltraum.

explosiver Vulkanismus (S. 200)
kurzzeitige, heftige Ausbrüche von Vulkanen, bei denen kilometerhohe Eruptionswolken entstehen. Diese Art des →Vulkanismus zeichnet sich durch hochviskose Lava, schwere Aschewolken und →pyroklastische Ströme aus. Gegenteil: →effusiver Vulkanismus

extensive Tierhaltung (S. 75, 125)
auch: extensive Weidewirtschaft. Form der Viehhaltung, bei der die Tiere auf großen Flächen gehalten werden. Dadurch können die Umweltressourcen effizient genutzt und die Eingriffe in den Naturhaushalt gering gehalten werden.

Felswüste (Hamada) (S. 77)
Wüstenart, deren Landschaft mit großen und kleinen Steinen übersät ist und aus der zum Teil einzelne Berge herausragen. Durch die großen Unterschiede der Temperaturen zwischen Tag und Nacht zerbrechen selbst riesige Felsbrocken. →physikalische Verwitterung

Ferralitisierung (S. 219)
Abnahme des Siliziumgehaltes der Böden (Desilifizierung) verbunden mit einer Anreicherung von Eisen- und Aluminiumoxiden im Unterboden. Dabei bildet sich der Bodentyp →Latosol.

Ferrelzelle (S. 26)
im →Drei-Zellen-Modell eine der drei Zellen der →atmosphärischen Zirkulation, identisch mit der →planetaren Frontalzone

feuchtadiabatisch (S. 16)
die Zustandsänderung einer meist aufsteigenden Luftmasse unter dem Einfluss der Kondensation. Durch die Kondensation wird Energie in Form von Wärme frei. Dadurch kühlt sich die Luft um 0,4-0,7°C je 100 m ab (feuchtadiabatischer Temperaturgradient).

Feuchte Mittelbreiten (S. 118)
Zone in den →Mittelbreiten, die durch eine recht ausgeglichene Jahresniederschlagsverteilung gekennzeichnet ist, welche vielfältiges Pflanzenwachstum ermöglicht

Feuchtsavanne (S. 70)
eine der drei Formen der →Savanne. Bei sechs bis zehn humiden Monaten sind parkartige Baumlandschaften mit meterhohem Elefantengras kennzeichnend.

Firn (S. 172)
kompakter, körniger Schnee im Hochgebirge, der mindestens ein Jahr alt ist und einen Übergang von Schnee zu Eis darstellt. Firn entsteht durch mehrfaches Auftauen und Wiedergefrieren und wandelt sich nach vielen Jahren zu Firneis und schließlich zu Gletschereis um.

Fixismus (S. 156)
ehemalige Lehrmeinung, nach der die Erdkruste fest mit dem tieferen Untergrund verbunden ist und keine horizontalen Bewegungen stattfinden. Sie bestand bis in die 1960er-Jahre.

fluviale Erosion (S. 163)
→Erosion durch Wasser

Föhn (S. 16)
warmer Fallwind, der vor allem in den Alpenregionen bekannt ist. Durch das Gebirge werden Luftmassen zum Auf- oder Abstieg gezwungen. Beim Aufsteigen kühlt die Luft ab, es kommt zur Wolkenbildung und Niederschlägen. Beim Absteigen erwärmt sich die Luft wieder, sodass der Wind warm und trocken ist. →feuchtadiabatisch, →trockenadiabatisch, →Steigungsregen

fossiles Grundwasser (S. 79)
Grundwasser, das in einer regenreichen Klimaperiode entstand, sich deshalb oft in großen Tiefen befindet und sich nicht erneuert

Fremdlingsfluss (S. 85)
Fluss, der in einem regenreichen Gebiet entspringt und anschließend durch ein Trockengebiet fließt

Frostmusterboden (S. 94)
Boden, der durch wiederholte Gefrier- und Auftauzyklen geprägt ist. Während des Winters gefrieren Wasser und Bodenpartikel im oberen Bodenbereich, wodurch charakteristische Muster wie Risse, Erhebungen und Mulden entstehen.

Frostsprengung (S. 94, 162)
Form der →physikalischen Verwitterung in kalten Klimaten, in denen sich Tauwetter und Frost abwechseln. Durch das Gefrieren von Wasser, welches in Gesteinshohlräume eindringt, nimmt das Wasservolumen um 9 % zu und sprengt so das Gestein. Die Frostsprengung kann bis in ca. 2 m Tiefe reichen.

Fumarole (S. 201)
Stelle im Boden vulkanisch aktiver Zonen, an der Wasserdampf und vulkanische Gase austreten

Gefährdungspotenzial (S. 192)
Potenzial einer bestimmten Gefahr oder Bedrohung, Schaden an Menschen, Umwelt oder Sachwerten zu verursachen. Der Begriff wird oft im Zusammenhang mit der →Risikoforschung verwendet.

Gelifluktion (S. 167)
Form der →Solifluktion im periglazialen Bereich. Voraussetzung sind saisonaler Bodenfrost oder →Permafrost.

genetische Klassifikationen (S. 19)
Gliederung der atmosphärischen Verhältnisse nach der Ursache der Klimaerscheinungen, d. h. nach der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation

Geo-Engineering (S. 50)
technischer Eingriff in die Prozesse des Erdsystems mit dem Ziel, die Entwicklungen des gegenwärtigen →Klimawandels zu verhindern oder zu verlangsamen

Geofaktor (S. 10)
Merkmal, welches geographische Regionen und Landschaften bestimmt bzw. prägt. Zu den Geofaktoren zählen geologische Prozesse, Klima, Wasser, Relief der Erdoberfläche, die Böden sowie Flora, Fauna und der Mensch.

Geosphäre (S. 10)
der dreidimensionale Landschaftsraum der Erdoberfläche mit seinen Funktionsbeziehungen zur →Atmosphäre, →Hydrosphäre, →Reliefsphäre, →Lithosphäre, →Pedosphäre, →Kryosphäre, →Biosphäre und →Anthroposphäre

Gletscher (S. 172)
Eismassen im Hochgebirge und in Polargebieten, die sich als Ströme talwärts bewegen. Sie entstehen oberhalb der →Schneegrenze.

Gletschererosion (S. 163)
Prozess, bei dem durch →Gletscher die Oberfläche der Erde erodiert, abgetragen und verformt wird. Landschaftsformen, die durch Gletschererosion entstehen, sind z. B. →Trogtäler, Hängetäler oder Moränen.

Gletscherschliff (S. 163)
Resultat der →Detersion im Gletscherbett und an den Wänden des →Trogtales, bei der raue Felsoberflächen zunächst geglättet werden und in Stoßrichtung der Eisbewegung Schrammen und Furchen erhalten

Gley (S. 95)
→Bodentyp, der vor allem in Senken und Niederungen auftritt. Unter dem vom Grundwasser nicht beeinflussten A-Horizont liegt ein rostfleckiger →Bodenhorizont. Dieser wird zeitweilig vom Grundwasser geflutet. Hier spielen sich Oxydationsprozesse ab (Go-Horizont). Der darunter liegende permanente Grundwasserbereich ist hingegen ein Reduktionshorizont (Gr-Horizont), der fahlgrau, graugrün oder blauschwarz gefärbt ist.

Gleysol (S. 94)
→Bodentyp, der durch übermäßige Wassersättigung und mangelnde Entwässerung gekennzeichnet ist, was zu einer Veränderung der Bodenfarben und einer spezifischen Profilgestaltung führt. Die Anwesenheit von reduziertem Eisen verleiht ihm charakteristische blaugraue oder grüngraue Farbtöne. Gleysols können in feuchten, wasserstauenden Gebieten wie Sümpfen, Feuchtgebieten oder schlecht entwässerten Gebieten vorkommen.

Globalstrahlung (S. 13)
Gesamtmenge der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung

Globaler Süden (S. 45)
Begriff für die Gruppe von ökonomisch, politisch und gesellschaftlich benachteiligten Ländern, die hauptsächlich auf der Südhalbkugel liegen. Der Begriff soll einen wertfreien Gegensatz zum Begriff „Entwicklungsländer" darstellen, da dieser oft eine eurozentrische, hierarchische Vorstellung von Entwicklung darstellt.

Gradientkraft (S. 16, 24)
Kraft, die Luftmassen von hohem zu tiefem Druck in Bewegung setzt

Hadleyzelle (S. 26)
im →Drei-Zellen-Modell eine der drei Zellen der →atmosphärischen Zirkulation. Die Hadleyzelle entspricht der →Passatzirkulation.

Halbwüste (S. 20)
Übergangsraum zwischen Savanne bzw. Steppe und Wüste, meist mit einer jährlichen Niederschlagssumme von 100 bis 250 mm

Halophyt (S. 73)
Pflanze, die eine verstärkte Salzverträglichkeit besitzt und deshalb in Regionen mit hohem Salzgehalt zu finden ist

Hartlaubgehölze (S. 20)
immergrüne Bäume und Sträucher, die typisch für Gebiete mit einer trockenen Jahreszeit (z B. Mittelmeerraum, →Winterfeuchte Subtropen) sind. Die Ausbildung z. B. einer dicken Rinde und die harten, ledrigen Blätter verhindern die Verdunstung und ermöglichen so das Überleben regenloser Zeiten.

Hitzestress (S. 144)
hier: bei Pflanzen infolge hoher Temperaturen hervorgerufene Folgen wie verminderte Samenbildung oder Blattabfall

Hotspot (S. 158, 200)
stationärer, im oberen Erdmantel lokalisierter, gegenüber seiner Umgebung deutlich heißerer Magmaherd, aus dem Schmelze nach oben dringt. Diese durchbricht die darüber driftende Lithosphärenplatte und bildet an der Erdoberfläche Vulkaninseln, z. B. die Hawaii-Inseln. Diese Form des Vulkanismus ist nicht an Plattenränder gebunden.

Humifizierung (S. 148)
Prozess der Umwandlung und Zersetzung von abgestorbenem organischem Material zu →Humus. Der Prozess wird durch Bodenlebewesen, die den Boden durchwühlen, begünstigt.

Huminstoffe (S. 148, 219)
dunkel gefärbte, relativ stabile organische Substanzen des Bodens, die bei der →Humifizierung entstehen. Sie bilden zusammen mit den →Tonmineralen die für die Bodenfruchtbarkeit wichtigen →Ton-Humus-Komplexe.

Humus (S. 60, 219)
dunkler, kohlenstoffreicher und stabiler Bestandteil des Bodens, der aus abgestorbenen Pflanzen- und Tierresten sowie Mikroorganismen besteht und entscheidend für die Bodenfruchtbarkeit ist

Hurrikan (S. 204)
→tropischer Wirbelsturm

Hydrosphäre (S. 10)
Wasserhülle der Erde, die ca. 71 % der Erdoberfläche ausmacht. Zu der Hydrosphäre gehören die Ozeane, die Festlandgewässer und die Wassermassen, die in Eis und Schnee an den Polen und in den Gletschern gebunden sind (→Kryosphäre).

Hypozentrum (S. 194)
auch: Erdbebenherd. Entstehungsort eines →Erdbebens, der in der →Lithosphäre gelegen ist. →Epizentrum

Immerfeuchte Subtropen (S. 125)
Zone der Subtropen an den Ostseiten der Kontinente (Ostseitenklima) mit milden Winter und heißen Sommer und ganzjähriger Humidität

Immerfeuchte Tropen (S. 56)
Kernraum der Tropen mit ganzjährig hohen Niederschlägen, hohen Temperaturen und dichter Waldbedeckung (→tropischer Regenwald)

Innertropische Konvergenzzone (ITC) (S. 22)
Bereich der inneren Tropen mit niedrigem Bodenluftdruck, in dem die →Passate der Nord- und Südhalbkugel zusammentreffen (konvergieren) und sich auflösen. Die ITC folgt dem Zenitstand der Sonne und bewegt sich im Jahresverlauf zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis. →Hadley-Zelle

Inselbogen (S. 160)
bogenförmig angeordnete, vulkanische Inselketten als Ergebnis für die Kollision zweier ozeanischer Platten

Insolationsverwitterung (S. 162)
auch: Hitzesprengung. Form der →Verwitterung, die auf den Wechsel von Erwärmung des Gesteins durch starke Einstrahlung (tagsüber) und dessen Abkühlung durch Ausstrahlung (nachts) zurückgeht. Die dadurch verbundene Änderung des Volumens führt zur allmählichen Lockerung der Gesteinsstruktur und schließlich zu deren Zerstörung.

Islandtief (S. 38)
sehr beständiges Tiefdruckgebiet über dem nördlichen Atlantik

Isobare (S. 16)
Linie gleichen Luftdrucks

Jahreszeitenklima (S. 14, 118)
Klima, das stärker durch die Temperaturschwankungen während des Jahres geprägt ist als durch die Tagesschwankungen (→Tageszeitenklima). Das Jahreszeitenklima ist typisch für die Gebiete außerhalb der →Tropen.

Jetstream (S. 24)
Zone orkanartiger Winde in der oberen →Troposphäre im Bereich der →planetarischen Frontalzone, hervorgerufen durch das starke Luftdruckgefälle in der Höhe

Kältegrenze (S. 20)
Grenzsaum, ab dem die Wärme so gering ist, dass Pflanzenwachstum in der Regel nicht mehr möglich ist. Die Kältegrenze liegt im Grenzbereich von Subpolarer und Polarer Zone bzw. oberhalb der Baumgrenze in Hochgebirgen.

Kältewüste (S.20)
nördlichste bzw. südlichste Vegetationszone in der Nähe der Pole, in welcher aufgrund der niedrigen Jahrestemperaturen kein Pflanzenwachstum möglich ist

Kaltfront (S. 120)
Grenzfläche zwischen warmer und kalter Luft auf der Rückseite des Warmluftsektors einer →Zyklone. Sie äußert sich in einem plötzlichen Temperaturabfall und einer Druckzunahme am Boden.

kaskadischer Effekt (S. 167)
Situation, in der ein →Naturereignis Auslöser für weitere Prozesse ist

Kationenaustauschkapazität (S. 61, 219)
Fähigkeit eines Bodens, Nährstoffe zu binden, vor Auswaschung zu schützen und bei Bedarf wieder abzugeben

Kerbtal (S. 163)
Tal in V-Form mit steilen, gestreckten Hängen, die beiderseits des Flusses enden, sodass Talboden und Flussbettsohle identisch sind

Kieswüste (Serir) (S. 77)
Wüstenart, deren Oberfläche durch eine weitgehend geschlossene Lage von Kies gekennzeichnet ist. Die Kiesel sind in der Regel nur wenige Zentimeter groß. Sie entstehen, wenn →Felswüsten durch Wind und Erosion zerfallen.

Kippelement (S. 44, 102)
überregionaler Bestandteil des Klimasystems (z. B. westantarktischer Eisschild, Amazonas-Regenwald). Kippelemente können Störungen bis zu bestimmten Schwellenwerten (Kipppunkt) tolerieren. Werden die Störungen stärker, kippt das Element schließlich abrupt in einen anderen, ebenfalls stabilen, aber irreversiblen Zustand.

Kipppunkt (S. 44, 102)
→Kippelement

Klamm (S. 163)
Tal mit senkrechten, oft hohen Talwänden. Eine Klamm entsteht, wenn ein Fluss (oder Wildbach) stark in die Tiefe erodiert.

Klima (S. 16)
die langjährigen (i. d. R. 30 Jahre) Durchschnittswerte der Merkmale des Wetters an einem bestimmten Ort

Klimaelement (S. 16)
messbare meteorologische Erscheinung in der erdnahen Atmosphäre (→Troposphäre): Temperatur, Niederschlag, Verdunstung, Bewölkung, Luftfeuchte, Luftdruck, Wind, Strahlung u. a.

Klimafaktor (S. 16)
Eigenschaft eines Raumes, der das Klima beeinflusst (z. B. Breitenlage, Höhenlage, Exposition, Siedlungsdichte, Lage zum Meer)

Klimaschutz (S. 48)
Maßnahmen, die dem rezenten →Klimawandel entgegenwirken sollen (z. B. die Reduktion von CO_2-Emissionen)

klimatische Trockengrenze (S. 20)
klimatische Trennlinie, die Gebiete mit Niederschlagsüberschuss von Gebieten mit Niederschlagsdefizit abgrenzt

Klimawandel (S. 42)
Begriff, der die Veränderungen des globalen Klimas beschreibt. Ein Klimawandel kann durch natürliche Ursachen hervorgerufen werden. Davon zu unterscheiden ist der gegenwärtige, anthropogen verursachte Klimawandel. So nimmt z. B. die Durchschnittstemperatur auf der Erde seit etwa 150 Jahren zu.

Kohlenstoffkreislauf (S. 43)
Zyklus des Kohlenstoffs in der Geosphäre. In →Atmosphäre, →Hydrosphäre, →Biosphäre und →Lithosphäre ist Kohlenstoff gespeichert und wird durch verschiedene Prozesse freigesetzt und gebunden.

kolline Stufe (S. 165)
unterste Höhenstufe außertropischer Gebirge bis etwa 800 m mit Laub- und Mischwald

konservative Plattengrenze (S. 159, 194)
Grenze, an der zwei Lithosphärenplatten horizontal aneinander vorbeigleiten. Dabei verhaken sie sich an →Transformstörungen und es entstehen Spannungen, die sich ruckartig in Form von →Erdbeben entladen können.

Kontinentalität (S. 19, 118)
vorherrschendes Klima im Innern großer Landmassen, gekennzeichnet durch große Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter, Tag und Nacht sowie durch relativ geringe Jahresniederschlagssummen

Kontraktionstheorie (S. 156)
ehemalige Theorie, nach welcher Gebirge durch das Schrumpfen der Erde infolge ihrer allmählichen Abkühlung entstehen

Konvektionsstrom (S. 159)
auf- und absteigender Strom von Magma im oberen Erdmantel, der zu Bewegungen der Lithosphärenplatten führt

konvergierende Plattengrenze (S. 159, 194)
auch: destruktive Plattengrenze. Grenze, an der zwei Lithosphärenplatten aufeinander zudriften. Dabei kann es zur →Subduktion, →Orogenese, →Erdbeben und →Vulkanismus kommen.

Kryosphäre (S. 10)
Teil der →Hydrosphäre. Bereich der Erdoberfläche, der aus Eis und Schnee besteht

Kryoturbation (S. 94)
Durchmischungsvorgang von Material des Bodens im periglazialen Bereich. Durch den Wechsel von Gefrieren und Auftauen und die damit verbundenen Volumenänderungen wird Druck ausgeübt, der zu vertikalen und horizontalen Materialbewegungen führt. →Permafrost

kurzgeschlossener Nährstoffkreislauf (S. 60)
verkürzter Nährstoffkreislauf, der im →tropischen Regenwald zu beobachten ist. Etwa 80 Prozent der Nährstoffe bzw. Mineralstoffe – die Begriffe werden oft synonym verwendet – gelangen nicht in den Boden, sondern werden durch die Wurzeln und →Mykorrhiza-Pilze direkt wieder aufgenommen.

Küstenwüste (S. 77)
spezielle Ausprägung von Wüsten an der Westküste von Kontinenten mit vorgelagerter kalter Meeresströmung (z. B. Wüste Namib). Warmer, trockener Wind legt sich auf kühle Luftmassen, die durch kalte Meeresströmungen entstehen. Dadurch wird der Aufstieg von Luftmassen und damit die Bildung von Regenwolken unterbunden.

Lahar (S. 201)
Schlamm- und Schuttstrom, hervorgerufen durch →Vulkanismus

Land-See-Wind (S. 16)
nächtliche Windströmung vom Land zum Meer. Der Land-See-Wind entsteht durch die im Vergleich zur Wasseroberfläche stärkere Abkühlung der Landoberfläche, die eine Ausgleichsströmung in Gang setzt. Tagsüber kehrt sich das System um.

Landwechselwirtschaft (S. 74)
landwirtschaftliche Nutzungsform, bei der ein stetiger Wechsel bei der Landnutzung einer Anbaufläche, z. B. zwischen Acker-, Grün- und Weideland bzw. der Brachezeit, erfolgt. Dies ermöglicht die Anreicherung des Bodens mit Mineralstoffen.

Lateritisierung (S. 61)
geologischer Prozess, bei dem sich Böden aufgrund von chemischen Veränderungen in sogenannte Lateritböden umwandeln. Dieser Prozess tritt vor allem in tropischen und subtropischen Regionen mit hoher Niederschlagsmenge und hohen Temperaturen auf. Lateritböden sind oft arm an Nährstoffen, da viele wichtige Mineralien ausgewaschen wurden.

Latosol (S. 61)
auch: Roterde oder Ferralsol. Typischer →Bodentyp des →tropischen Regenwalds. Kennzeichen sind ein dünner Oberboden und ein intensiv verwitterter Unterboden. Latosole sind weitgehend unfruchtbar und für die Landwirtschaft nur bedingt geeignet.

Lava (S. 200)
geschmolzenes Gestein, das bei Vulkanausbrüchen an die Erdoberfläche ausgetreten ist. Es kann Temperaturen zwischen 700 und 1250 °C erreichen.

Lithosphäre (S. 10, 158)
Gesteinshülle der Erde. Sie umfasst die Erdkruste und den oberen Teil des Erdmantels und ist in Platten gegliedert.

Maar (S. 200)
schüssel- oder trichterförmige Mulde vulkanischen Ursprungs, die in eine Landschaft eingesenkt ist. Maare sind z. B. in der Eifel und der Schwäbischen Alb zu finden.

Macchie (S. 125)
immergrüne →Hartlaubgehölze des Mittelmeerraums. Sie bestehen aus 1–3 m hohen Sträuchern und Baumsträuchern (z. B. Lorbeer, Wacholder oder Steineiche).

Magma (S. 200)
geschmolzenes Gestein im Erdinneren

Mangroven (S. 21)
Küstenwälder im Gezeitenbereich tropischer Meere. Mangroven sind wichtige →CO_2-Senken, Fischlaichgebiete und schützen Küsten vor Erosion und Sturmfluten.

Manteldiapir (S. 158)
→*Mantle Plume*

Mantle Plume (S. 158)
auch: Manteldiapir. Aufstiegsschlot für Tiefenmagma, das u. a. von der Kern-Mantel-Grenze zum →*Hotspot* aufsteigt

Maritimität (S. 19, 118)
vorherrschendes Klima in der Nähe von Ozeanen oder Meeren, gekennzeichnet durch kühle Sommer, milde Winter und relativ hohe Jahresniederschlagssummen

Mensch-Umwelt-Beziehungen (S. 10)
Wechselwirkungen zwischen Menschen und der sie umgebenden Umwelt

Mesosphäre (S. 12)
Schicht der →Atmosphäre, die bis ca. 100 km Höhe reicht. Sie ist durch eine Temperaturabnahme gekennzeichnet. Mit ca. –80 °C erreicht die Temperatur der Atmosphäre hier ihren tiefsten Wert.

Mineralisierung (S. 148)
Prozess der Umwandlung von organischen Substanzen in anorganische Verbindungen. Während der Mineralisierung zerlegen Bodenmikroorganismen, wie Bakterien und Pilze, komplexe organische Moleküle in einfachere Verbindungen und anorganische Nährstoffe. Diese stehen dann den Pflanzen zur Verfügung und werden von ihnen aufgenommen. Der Prozess der Mineralisierung ist somit ein wichtiger Bestandteil des Nährstoffkreislaufs.

Mittelbreiten (S. 14)
→Beleuchtungszone zwischen der →Polarzone und den →Tropen

mittelozeanischer Rücken (S. 158)
Bereich meist am Ozeangrund, an dem sich zwei Kontinentalplatten voneinander wegbewegen. Durch das dabei aufsteigende und abkühlende Magma entstehen lange Gebirge unter Wasser. →*Rift Valley*, →*Seafloor Spreading*

Mobilismus (S. 156)
Lehrmeinung, nach der Teile der →Lithosphäre sich horizontal bewegen

Monokultur (S. 65)
Form der Bodenbewirtschaftung auf überwiegend großen Flächen, bei der immer die gleichen Feldfrüchte über einen längeren Zeitraum angebaut werden. Um die Erträge bei Monokulturen zu sichern, muss, da der Boden ständig Nährstoffe verliert, stärker gedüngt werden. Außerdem sind die Pflanzen gegen Schädlinge besonders anfällig. Die Monokultur ist z. B. typisch für die tropische Plantagenwirtschaft.

Monsun (S. 28)
beständig wehende Winde, die im Jahresverlauf ihre Richtung um ca. 180 Grad ändern und besonders für den indischen Subkontinent und für Ostasien typisch sind. →Passatzirkulation

montane Stufe (S. 165)
Höhenstufe außertropischer Gebirge oberhalb der →submontanen Stufe und unterhalb der →alpinen Stufe. Hier kommen nur noch Nadelwälder vor. Sie ist nach oben begrenzt durch die →Waldgrenze.

Muldental (S. 163)
weitverbreitete Form eines sanft geschwungenen Tals mit flachen Talhängen, das durch eine starke Abtragung der Festlandsoberfläche entstanden ist

Mure (S. 166)
schnell fließender, aus Schlamm und Steinen bestehender Erdrutsch, der durch heftige Regenfälle oder Schneeschmelze ausgelöst wird

Mykorrhiza (S. 60)
im →tropischen Regenwald weit verbreitete Pilzart, die mit ihrem Geflecht die Saugwurzeln von mehrjährigen Pflanzen umspinnt und diese so mit aufgefangenen Nährstoffen versorgt. Im Austausch erhalten die Pilze Kohlenhydrate von der Pflanze.

Naturereignis (S. 192)
in der Natur ablaufender Vorgang, der vom Menschen nicht beeinflusst werden kann. Zu den Ereignissen zählen z. B. Blitzeinschläge, Erdbeben, Vulkanausbrüche oder Dürren.

Naturgefahr (S. 192)
→Naturereignis, das eine mögliche Gefährdung für Bevölkerung, Umwelt und Sachwerte darstellt, z. B. bei Ansiedlung in erdbebengefährdeten Zonen

Naturkatastrophe (S. 192)
→Naturereignis mit hohen Personen- und Sachschäden

natürlicher Treibhauseffekt (S. 13)
Bezeichnung für die natürliche Erwärmung der →Atmosphäre. Durch die Lufthülle kann die kurzwellige Sonnenstrahlung bis zur Erdoberfläche vordringen, diese aufheizen und von dort als langwellige Wärmestrahlung reflektiert werden. Die langwellige Strahlung dringt allerdings nicht durch die mit Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Ozon angereicherte Atmosphäre und sorgt so für eine allmähliche Erwärmung. So wird die globale Mitteltemperatur in Bodennähe auf +15 °C angehoben.

Nebelwald (S. 165)
tropischer Gebirgsregenwald, der an den Hängen niederschlagsreicher Gebirge in einer Höhe zwischen ca. 1000 und 3000 m vorkommt. Der Nebelwald wird fast ganzjährig von ständigem Nebel bedeckt. Auffallend ist die Vielzahl von →Epiphyten.

Niederschlagsvariabilität (S. 80)
starke räumliche und zeitliche Schwankung der Niederschlagsmenge

Nimbostratus (S. 120)
Schichtwolke mit sehr hoher Vertikalerstreckung von tiefen bis in hohe Wolkenstockwerke. Von unten sieht sie grau und strukturlos aus. Nimbostratuswolken werden von anhaltenden Niederschlägen begleitet.

nivale Stufe (S. 165)
auch: Schneestufe. Höchste Höhenstufe außertropischer Gebirge oberhalb der →Schneegrenze. Hier tauen Schnee und Eis das ganze Jahr nicht mehr ab.

Nomadismus (S. 75)
nicht sesshafte Lebensweise von Menschen innerhalb von Gebieten, in denen im Jahresverlauf das Futter- und Wasserangebot stark schwankt. Die Menschen wandern deshalb regelmäßig mit ihrem Vieh, damit die Tiere auf den wechselnden Weiden genug Futter finden.

Nordatlantische Oszillation (NAO) (S. 38)
Schwankungen des Luftdruckunterschieds zwischen dem →Islandtief im Norden und dem →Azorenhoch im Süden

Oase (S. 73)
Stelle in der Wüste, an der es Wasservorkommen und ein üppiges Pflanzenwachstum gibt. Das vorhandene Wasser ermöglicht den Bewohnern den Anbau von Getreide, Obst und Gemüse. Man unterscheidet u. a. zwischen Quell-, Grundwasser- und Flussoasen.

Okklusion (S. 121)
Wetterfront, die durch Vereinigung einer →Kaltfront mit einer →Warmfront entsteht. Dabei schiebt sich die schnelle Kaltfront unter die Warmfront, wodurch die Windstärke abnimmt und kaum Niederschläge fallen.

ökologischer Fußabdruck (S. 87)
Konzept, welches den Flächenbedarf ermittelt, den ein Mensch mit seinem Lebensstandard bzw. Lebensstil dauerhaft in Anspruch nimmt. Das schließt sowohl Flächen für die Produktion als auch für die Entsorgung bzw. das Binden des freigesetzten Kohlenstoffdioxids ein. Die Werte werden in globalen Hektar (gha) angegeben.

ökologische Tragfähigkeit (S. 68)
maximale Anzahl an Organismen (Menschen, Tiere, Pflanzen), die in einem Lebensbereich (lokal, regional, global) existieren können, ohne dass dieser langfristig Schaden nimmt. Die ökologische Tragfähigkeit ist überschritten, wenn Organismen sich so sehr vermehren, dass nicht mehr alle ernährt werden können. Dies ist z. B. auch gegeben, wenn der Mensch Naturräume durch Übernutzung ihrer Regenerationsfähigkeit beraubt.

Ökosystem (S. 58)
System, in dem die Umweltbereiche Klima, Tiere, Pflanzen, Wasser, Boden und Menschen in Wechselwirkung stehen

Ökozone (S. 59)
Großraum der Erde, der sich aus einheitlichen ökologischen Bedingungen ergibt

Ökumene (S. 93)
die vom Menschen dauerhaft besiedelten Teile der Erde. Gegensatz: →Anökumene

Orogenese (S. 160)
Prozess der Gebirgsbildung durch Zusammenstoßen mehrerer Lithosphärenplatten

Ostseitenklima (S. 125)
Klimatyp im Bereich der →Immerfeuchten Subtropen, der ausschließlich an den Ostseiten der Kontinente vorkommt. Im Gegensatz zu den →Winterfeuchten Subtropen ist es das ganze Jahr feucht (humid).

Overtourism (S. 180)
Form des Tourismus in beliebten und daher besonders stark besuchten Destinationen. Dabei entstehen Konflikte zwischen

Reisenden und Einheimischen, die die hohe Zahl an Reisenden als belastend empfinden (z. B. erhöhtes Müllaufkommen, Lärm, Verdrängung von Wohnraum durch Umnutzung in Ferienwohnungen).

Ozonschicht (S. 12)
Schicht der → Atmosphäre in einer Höhe von 20 bis 30 km. Hier kommt das Gas Ozon (O_3) in hoher Konzentration vor. Die Ozonschicht schützt die Erde vor der energiereichen ultravioletten Strahlung der Sonne.

Pangäa (S. 156)
Urkontinent im ausgehenden Erdaltertum und frühem Erdmittelalter (ca. 300 – 160 Mio. Jahre vor heute), der als Riesenkontinent im Wesentlichen alle heutigen Kontinente vereinte

Passat (S. 22)
großräumige Windströmung in den → Tropen, die durch das Luftdruckgefälle von den → subtropischen Hochdruckgürteln zum Äquator hin entsteht. Er wird durch den → Corioliseffekt abgelenkt (Nordost-Passat bzw. Südost-Passat).

Passatzirkulation (S. 22)
geschlossene tropische Luftzirkulation. Am Äquator steigen warme Luftmassen auf, kühlen ab und strömen in großer Höhe polwärts. Im Bereich der Wendekreise sinken sie zu Boden (→ subtropischer Hochdruckgürtel) und strömen als → Passate zum Äquator zurück. Hier werden sie erwärmt und steigen wieder auf. → äquatoriale Tiefdruckrinne, → Innertropische Konvergenzzone, → Hadleyzelle

Pedosphäre (S. 10)
Bereich der Erdoberfläche, in dem sich → Atmosphäre, → Biosphäre, → Hydrosphäre und → Lithosphäre durchdringen. In der Pedosphäre finden Prozesse der Bodenbildung statt.

Permafrost (S. 94, 173)
Bezeichnung für den Zustand eines Bodens in hohen Breiten oder im Hochgebirge, der ständig (permanent) gefroren ist, oft bis in mehrere Hundert Meter Tiefe. Im Sommer taut nur die oberste Bodenschicht auf. Diese ist dann meist sehr schlammig, da das Wasser nicht in den gefrorenen Untergrund abfließen kann.

physikalische Verwitterung (S. 77)
mechanische Zerstörung von Gestein durch äußere Einflüsse wie Temperaturschwankungen oder Sprengung durch gefrorenes Wasser (→ Frostsprenung). → Insolationsverwitterung

planetarische Frontalzone (S. 24)
Grenzbereich unterschiedlichen Luftdrucks, der aus den verschiedenen Wärmegehalten von äquatorialer und polarer Luft resultiert. → Ferrelzelle

Plattenzug (*Slab Pull*) (S. 159)
Antriebskraft an Plattengrenzen: Absinken der ältesten, dichtesten und daher schwersten Bereiche ozeanischer Platten durch ihr Eigengewicht an Subduktionszonen. Sie ziehen die gesamte restliche Platte vom → *Rift Valley* hinter sich her und öffnen dadurch den → mittelozeanischen Rücken.

Plucking (S. 163)
→ Detraktion

Podsol (S. 119)
auch: Bleicherde oder Ascheboden. → Bodentyp, der sich auf Lockergesteinen und Verwitterungsdecken unter humiden bis kühlgemäßigten Bedingungen bildet. Der Oberboden ist stark ausgewaschen und arm an organischen Substanzen. Podsole besitzen eine geringe Fruchtbarkeit, Landwirtschaft ist aber durch Bodenverbesserungsmaßnahmen möglich.

Polare Zone (S. 92)
Zone um die Pole, die die Arktis sowie die Antarktis umfasst und geprägt ist durch trockene, sehr kalte Winter sowie geringe Sommerniederschläge. Hier gibt es keine Vegetation (Eiswüste).

Polarnacht (S. 14, 92)
die Zeit des Jahres, in der die Sonne zwischen Pol und Polarkreis länger als 24 Stunden nicht aufgeht. An den Polen dauert die Polarnacht ein halbes Jahr.

Polartag (S. 14, 92)
die Zeit des Jahres, in der die Sonne zwischen Pol und Polarkreis länger als 24 Stunden nicht untergeht. An den Polen dauert der Polartag ein halbes Jahr.

Polarzelle (S. 26)
im → Drei-Zellen-Modell eine der drei Zellen der → atmosphärischen Zirkulation. Es handelt sich um die Luftzirkulation in der → Polarzone, gekennzeichnet u.a. durch polare Ostwinde.

Polarzone (S. 14)
→ Beleuchtungszone zwischen den Polarkreisen und den Polen, gekennzeichnet durch einen flachen Einfallswinkel der Sonne und das Auftreten von → Polartag und → Polarnacht

potenzielle natürliche Vegetation (S. 21)
Vegetation, die sich langfristig ohne menschliche Eingriffe herausbilden würde

pyroklastischer Strom (S. 200)
heißer Strom, der aus einem Feststoff-Gas-Gemisch besteht und sich bei vulkanischen Eruptionen mit hohen Geschwindigkeiten (bis zu 400 km/h) hangabwärts bewegt

Rainwater Harvesting (S. 75)
Bewässerungsmethode, bei der Regenwasser gesammelt wird. Die Bewässerung erfolgt z. B. durch Abflusskanäle, Zisternen oder Terrassensysteme.

Raubbau-Syndrom (S. 64)
Bezeichnung für die Situation, in der die ökologische Tragfähigkeit einer Fläche überschritten wird, wodurch sie für zukünftige Generationen nicht mehr nutzbar wird. An der Natur wird Raubbau betrieben.

Reflexion (S. 13)
Prozess des Zurückwerfens, z. B. von Strahlung. → Albedo

Regelation (S. 172)
wiederholtes Auftauen und Wiedergefrieren von Schnee oder Eis

Regenfeldbau (S. 74)
auch: Trockenfeldbau. Anbau ohne zusätzliche Bewässerung. Für das Wachstum der Pflanzen reichen die Niederschläge aus.

Regenzeit (S. 70)
durch hohe Niederschläge gekennzeichneter Zeitraum in den → Wechselfeuchten Tropen

relative Feuchte (S. 76)
Verhältnis zwischen der in der Luft enthaltenen Wasserdampfmenge und jener bei gegebener Temperatur maximal möglichen Wasserdampfmenge. Je geringer die relative Feuchte, desto mehr Wasser kann die Luft noch aufnehmen.

Reliefsphäre (S. 10)
Bestandteil der Landschaftshülle der Erde, der an der Herausbildung des Georeliefs beteiligt ist. In der Reliefsphäre wirken die geomorphologischen Prozesse.

Revolution (S. 14)
Bezeichnung für den Umlauf der Erde um die Sonne innerhalb von ca. 365,25 Tagen

Rift Valley (S. 158)
lang gestreckte Senke als Zerrungsstruktur in der → Lithosphäre, die beim Divergieren (Auseinanderbewegen) von zwei Platten entsteht

Rinnensog (*Trench Suction*) (S. 159)
Antriebskraft an Plattengrenzen. Die subduzierte Platte zieht die hängende (nicht subduzierte) Platte mit sich in Richtung der geschaffenen Rinne.

Risikoforschung (S. 192)
Studium von Risiken, potenziellen Gefahren, Unsicherheiten und den Auswirkungen von Ereignissen, die negative Folgen für Menschen, Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft haben können. Sie soll Gefahren durch eine Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenshöhen berechenbar machen.

Rohstoffexploration (S. 64)
Suche nach Rohstoffen sowie die Erkundung der Lagerstätten

Rotation (S. 14)
Bezeichnung für die Drehbewegung der Erde innerhalb von rund 24 Stunden um ihre eigene Achse

Rückendruck (*Ridge Push*) (S. 159)
Antriebskraft an Plattengrenzen. Magma steigt an → mittelozeanischen Rücken auf und wölbt dabei die Erdkruste auf. Der damit angehobene Rand drückt die restliche Platte vom Rücken weg.

Rückkopplungseffekt (S. 102)
Rückwirkung von Veränderungen von Teilkomponenten, z. B. eines → Ökosystems, auf die anderen Systemkomponenten. Rückkopplungen können positive oder negative Folgen für das Gesamtsystem haben.

Rückseitenwetter (S. 121)
typisches Wetter mit geringer Wolkenbildung, das hinter der vordringenden Kaltfront einer → Zyklone herrscht

Sahel-Syndrom (S. 80)
Situation, in welcher sich Boden und Vegetation nicht mehr regenerieren können und es zur Ausbreitung von Wüsten kommt. → Desertifikation

Sandwüste (Erg) (S. 77)
Wüstenart, die von Sanddünen dominiert wird. Der Wind bläst den Sand aus den Geröll- und Kiesfeldern der → Kieswüste und lagert ihn in der Sandwüste ab.

Savanne (S. 20, 70)
Hauptvegetationsform der → Wechselfeuchten Tropen zwischen → Wüste und → tropischem Regenwald. Es wird unterschieden in → Feucht-, → Trocken- und → Dornstrauchsavanne.

Schneegrenze (S. 165, 172)
Grenzsaum, über den hinaus ganzjährig Schnee liegt

Seafloor Spreading (S. 158)
auch: Ozeanbodenspreizung. Langsames seitliches Auseinanderweichen des Ozeanbodens. An → mittelozeanischen Rücken tritt Lava aus, wodurch sich ständig neuer Ozeanboden bildet und die Lithosphärenplatten auseinanderdriften.

Sedimentation (S. 163)
Prozess der Ablagerung von Lockermaterial auf der Erdoberfläche, vor allem in Tälern, an Gebirgsrändern und in Meeren

Seitenmoräne (S. 163)
die von einem → Gletscher abgelagerten Schuttmassen seitlich der Ausbreitungsrichtung des Gletschers

Sekundärwald (S. 62)
Wald, der nach der Zerstörung des natürlichen Waldes (z. B. durch Brandrodung) nachwächst. Dieser ist meist lichter und artenärmer.

Shifting Cultivation (S. 62)
→ Wanderfeldbau

Solarkonstante (S. 13)
Bezeichnung für die Strahlungsleistung der Sonne (1368 W/m²)

Solfatare (S. 202)
→ Fumarolen, die hauptsächlich Schwefelwasserstoff enthalten, benannt nach dem Vulkankrater Solfatara

Solifluktion (S. 94, 167)
langsames Bodenfließen hangabwärts. Taut die Oberfläche des gefrorenen Bodens auf, bewegt sich dieser Teil mit seinem Boden- und Gesteinsmaterial auf dem noch gefrorenen Untergrund kriechend vorwärts. Solifluktion ist typisch für periglaziale Gebiete, d.h. kalte, aber nicht glaziale Räume. Sie ist jedoch nicht auf diese beschränkt. -> Gelifluktion

sommergrüner Laub- und Mischwald (S. 20, 119)
typische Vegetationszone in den → Mittelbreiten. Die Böden sind in der Regel fruchtbar (→ Braunerde). Die Laubbäume werfen im Herbst aufgrund der sinkenden Temperaturen und der abnehmenden Helligkeit ihr Laub ab. Kennzeichnende Bäume sind u. a. Eichen und Buchen.

Steigungsregen (S. 17)
Niederschlag, der durch den Aufstieg von Luftmassen an Gebirgen entsteht. Die feuchten Luftmassen kühlen beim Anstieg ab, es kommt zur Kondensation und zu Niederschlägen.

Steppe (S. 20, 119)
auch: Grassteppe. Weitestgehend baumlose Graslandschaft in den → Mittelbreiten bzw. im Hochgebirge. Das Pflanzenwachstum ist durch die Trockenheit im Sommer (400 – 600 mm Jahresniederschlag) und die Winterkälte stark eingeschränkt. In den Steppenregionen befinden sich oft fruchtbare Böden (z. B. Schwarzerde).

Stockwerkbau (S. 58)
Begriff für die vertikale Schichtung der Vegetation, wie sie vor allem für den → tropischen Regenwald typisch ist. Die Pflanzen wachsen sehr üppig und bilden entsprechend der gegebenen Lichtverhältnisse verschiedene Schichten aus: die Krautschicht, die Strauchschicht und die Baumschicht mit bis zu 70 m hohen Baumriesen. In der → Agroforstwirtschaft wird der Stockwerkbau nachgeahmt.

Strahlungsbilanz (S. 40)
Gleichgewicht der Energie, die von der Erde absorbiert und reflektiert wird

strahlungsklimatische Klimazone (S. 18)
→ Beleuchtungszone

Stratosphäre (S. 12)
die über der → Troposphäre liegende Schicht in der → Atmosphäre. Sie beginnt über den Polargebieten in ca. 10 km und über dem Äquator in ca. 18 km Höhe und reicht bis ca. 30 km Höhe.

subalpine Stufe (S. 165)
Höhenstufe außertropischer Gebirge. Sie liegt oberhalb der → montanen Stufe und unterhalb der → alpinen Stufe und ist gekennzeichnet durch Krumholzbestände und kleinwüchsige Bäume.

Subduktion (S. 158)
Vorgang, bei dem eine Lithosphärenplatte unter eine andere taucht. Dabei wird die Platte mit der höheren Dichte (ozeanische Platte) unter die Platte mit der geringeren Dichte (kontinentale Platte) subduziert. → Tiefseerinne

submontane Stufe (S. 165)
Höhenstufe außertropischer Gebirge oberhalb der → kollinen Stufe mit Laub- und Mischwald

Subpolare Zone (S. 92)
an die → Polare Zone sich äquatorwärts anschließende Zone, die durch trockene, kalte Winter und geringe Sommerniederschläge geprägt ist. Typische Vegetationsform ist die → Tundra.

Subsistenzwirtschaft (S. 62)
auch: Selbstversorgungswirtschaft. Wirtschaftsform, die nur der Eigenversorgung und nicht dem Verkauf dient

subsolarer Punkt (S. 15)
Standort, an dem die Sonne im → Zenit und somit senkrecht über der Erdoberfläche steht. An diesem Punkt ist die Einstrahlung (Insolation) maximal.

subtropischer Hochdruckgürtel (S. 22)
Zone in den → Tropen etwa zwischen dem 20. und 40. Breitenkreis, in der ganzjährig hoher Luftdruck und geringe Bewölkung (d. h. Trockenheit) vorherrschen. → Passatzirkulation

Sukzession (S. 62)
Prozess der schrittweisen Veränderung von Vegetation und Ökosystemen in einem bestimmten Gebiet über die Zeit hinweg. Diese Veränderungen können auf natürliche oder menschliche Einflüsse zurückzuführen sein.

Tageszeitenklima (S. 14)
Klima, das stärker durch die Tagesschwankungen der Temperaturen geprägt ist als durch die jahreszeitlichen Schwankungen (→ Jahreszeitenklima). Das Tageszeitenklima ist typisch für die → Tropen.

Taifun (S. 204)
→ tropischer Wirbelsturm

Taupunkt (S. 16, 76)
Punkt, an dem eine feuchte Luftmasse komplett gesättigt ist und eine relative Luftfeuchte von 100 % aufweist. Wird die Taupunkttemperatur überschritten, setzt Kondensation ein.

Tephra (S. 200, 201)
Sammelbegriff für alle festen vulkanischen Materialien, die bei einem Vulkanausbruch ausgestoßen werden und sich in der Umgebung ablagern. Dazu zählen z. B. Asche, Lapilli, Bimsstein und vulkanische Bomben.

Terra Preta (S. 63)
durch menschliche Bearbeitung entstandener Boden (anthropogener Boden), u. a. aus Pflanzenresten, Dung und Kompost

Theorie der Kontinentalverschiebung (S. 156)
von Alfred Wegener 1912 begründete Theorie, die von einer kontinuierlichen Bewegung der Kontinente und einem ehemals zusammenhängenden Superkontinent ausging. → Pangäa

Theorie der Plattentektonik (S. 158)
Theorie für die großräumigen Abläufe in der Erdkruste. Sie beschreibt die Bewegungen der Erdplatten und die damit verbundenen Folgen, so z. B. die Entstehung von Faltengebirgen, → Tiefseerinnen → Erdbeben und → Vulkanismus.

Thermoerosion (S. 106)
durch →Thermokarst ausgelöste Erosionsprozesse, z. B. durch fließendes Wasser infolge des Auftauens von Eislinsen im Permafrostboden. →Permafrost

thermohaline Zirkulation (S. 32)
Teil des marinen Zirkulationssystems. Die Strömungen werden durch Unterschiede in Temperatur und Salzgehalt des Wassers verursacht.

Thermoisoplethendiagramm (S. 14)
Diagramm, das den tageszeitlichen Temperaturverlauf über das Jahr hinweg angibt

Thermokarst (S. 106)
unregelmäßige Reliefausbildungen in subpolaren Gebieten, die durch das Abtauen von Eis im Permafrostboden entstehen. Durch den Volumenverlust senkt sich die Landschaft und es bilden sich Seen oder lokale Absenkungen. Ursachen sind erhöhte Temperaturen, anthropogene Eingriffe oder Feuer. →Permafrost

Thermosphäre (S. 12)
auch: Ionosphäre. Schicht der →Atmosphäre ab etwa 80 km Höhe, an deren Untergrenze der Luftdruck annähernd null ist

Tiefseerinne (S. 158)
veraltet: Tiefseegraben. Zone mit einer Wassertiefe bis ca. 11 km, an der eine subduzierte Platte abtaucht (→Subduktion)

Tierra Caliente (S. 165)
auch: heißes Land. Unterste Höhenstufe tropischer Gebirge, die bis in eine Höhe von ca. 1200 m reicht. Bei ganzjährig feuchtheißem Klima gedeiht →tropischer Regenwald.

Tierra Fria (S. 165)
auch: kühles Land. Höhenstufe tropischer Gebirge bis in eine Höhe von ca. 3500–4000 m. Hier gedeiht tropischer →Nebelwald. Darüber liegen noch die Höhenstufen Tierra Helada (gefrorenes Land) mit Grasflächen und Tierra Nevada (verschneites Land) mit Eis und Schnee.

Tierra Templada (S. 165)
auch: gemäßigtes Land. Höhenstufe tropischer Gebirge bis in eine Höhe von ca. 2000 – 2500 m. Hier gedeiht tropischer Bergwald.

Ton-Humus-Komplex (S. 148)
Verbindung aus →Huminstoffen und →Tonmineralen, bei dem sich die Huminstoffkomplexe außen auf die Tonminerale anlagern. Die Wechselwirkungen zwischen Huminstoffen und Tonmineralen sind entscheidend für die Fruchtbarkeit des Bodens.

Tonminerale (S. 148, 219)
kleinste Minerale (Silikate), die nicht größer als 0,002 mm und das Ergebnis von Verwitterungsprozessen sind. Sie sind quellfähig und können Ionen wichtiger Nährstoffe binden, weshalb sie – zusammen mit →Huminstoffen – von großer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit sind. →Ton-Humus-Komplex

Transformstörung (S. 158, 194)
Bereich, an dem zwei Kontinentalplatten horizontal aneinander vorbeigleiten. Dabei verhaken sie sich und es entstehen Spannungen, die sich ruckartig in Form von →Erdbeben entladen können.

Transpiration (S. 70)
Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen in Pflanzenblättern

trockenadiabatisch (S. 16)
die Zustandsänderung einer auf- bzw. absteigenden trockenen Luftmasse. Die Luft kühlt sich um 1 °C je 100 m ab (trockenadiabatischer Temperaturgradient).

Trockene Mittelbreiten (S. 118)
Zone in den →Mittelbreiten, die durch relativ geringe Niederschläge und Trockenheit gekennzeichnet ist. Das Pflanzenwachstum ist dadurch stark begrenzt. Die Trockenen Mittelbreiten lassen sich in →Steppen und →Wüsten/Halbwüsten unterteilen.

Trockene Subtropen (S. 125)
auch: Aride Subtropen. Zone in den subtropischen Breiten (ca. zwischen 20° und 30° Breite) mit geringen Niederschlägen und trockenen Bedingungen

Trockene Tropen (S. 56)
Zone der Tropen im Übergangsbereich zu den →Trockenen Subtropen. Vorherrschende Vegetationsform sind →Wüsten und →Halbwüsten.

Trockenfeldbau (S. 74)
→Regenfeldbau

Trockensavanne (S. 70)
eine der drei Formen der → Savanne. Bei 4 bis 6 humiden Monaten wächst das Gras maximal brusthoch. Bäume stehen vereinzelt und haben sich der Trockenheit angepasst. Typisch sind Schirmakazien oder Wasser speichernde Affenbrotbäume (Baobabs).

Trockenstress (S. 144)
auch Wasserstress. Belastung von Pflanzen durch Wassermangel. Die Folgen sind zum Beispiel vertrocknete Blätter und Blattabwurf.

Trockenzeit (S. 70)
durch geringe oder vollständig fehlende Niederschläge gekennzeichneter Zeitraum in den → Wechselfeuchten Tropen

Trogtal (S. 163)
von →Gletschern geformtes, U-förmiges Tal, welches durch die Eismassen ausgeschürft wurde

Tropenzone (S. 14)
→Beleuchtungszone zwischen den Wendekreisen, gekennzeichnet durch →Tageszeitenklima und einen steilen Einfallswinkel der Sonne. Man unterscheidet zwischen den →Immerfeuchten und den →Wechselfeuchten Tropen.

Tröpfchenbewässerung (S. 127)
wassersparende, aber kostenintensive Bewässerungsmethode, bei der jede einzelne Pflanze durch einen dünnen Plastikschlauch mit feinen Düsen mit Wasser versorgt wird

tropischer Regenwald (S. 20)
immergrüner Wald in den →Immerfeuchten Tropen, der u. a. durch →Stockwerkbau gekennzeichnet ist

tropischer Wirbelsturm (S. 204)
rotierender Luftwirbel von Orkanstärke mit einem Durchmesser von mehreren Hundert Kilometern und einem nahezu windstillen Zentrum (Auge). Er entsteht über warmen Meeresgebieten, wird von sehr hohen Niederschlägen begleitet und kann große Schäden verursachen. Je nach Entstehungsgebiet werden tropische Wirbelstürme als Hurrikan (Atlantischer Ozean, Ostpazifik), Taifun (Nordwestpazifik) oder als Zyklon (Indischer Ozean, Südwestpazifik) bezeichnet.

Troposphäre (S.12)
unterste Schicht der →Atmosphäre, die an den Polen bis 8 km Höhe und am Äquator bis ca. 18 km Höhe reicht. In ihr ist der größte Teil des Wasserdampfs konzentriert, wodurch sich Wolken und Niederschläge bilden können.

Tsunami (S. 198)
sich schnell ausbreitende, in Küstennähe hohe Welle, die durch →Erdbeben auf dem Meeresgrund (Seebeben), Vulkanausbrüche oder Rutschungen ausgelöst wird. In Ufernähe können Tsunamis katastrophale Schäden verursachen und ganze Küstenstriche verwüsten.

Tundra (S. 20)
baumfreie bis baumarme, niedrige Vegetationszone im subpolaren Raum, häufig auf vernässten Böden bzw. Böden im Bereich des →Permafrosts. Die Vegetation ist von Moosen, Flechten, Gräsern und Zwergsträuchern geprägt.

Überfischung (S. 98)
starke Verringerung des Fischbestandes, die eintritt, wenn in einem Gebiet mehr Fische gefangen werden, als durch die natürliche Vermehrung nachwachsen können

Übergangsklima (S. 118)
Bezeichnung für das Klima Mitteleuropas zwischen maritimem (→Maritimität) und kontinentalem Klima (→Kontinentalität)

Upwelling (S. 33)
Teil der →thermohalinen Zirkulation, bei dem kaltes Tiefenwasser in höhere Schichten des Meerwassers verlagert wird

Urban Farming (S. 151)
Anbau von Nutz- (z. B. Gemüse, Kräuter) oder Zierpflanzen (z. B. Blumen) in einer Stadt (urbaner Raum), meist auf öffentlichen Flächen

Verwitterung (S. 162)
Zerfall von Gesteinen an der Erdoberfläche unter Einwirkung physikalischer, chemischer und biogener Kräfte. Die Verwitterung ist die Voraussetzung für die Abtragung und beeinflusst damit wesentlich die Formung der Erdoberfläche, außerdem lockert sie diese und ermöglicht somit die Bodenbildung.

virtuelles Wasser (S. 134)
mathematisches Hilfsmittel zur Berechnung des realen Wasserverbrauchs eines Produkts oder eines Landes. Dabei wird nicht nur das Wasser eines Produkts (z. B. T-Shirt) oder Lebensmittels (z. B. Tomate) einbezogen, sondern auch die Wassermenge, die während des gesamten Herstellungsprozesses (z. B. Bewässerung von Feldern, Wasser für die Produktion von Vorprodukten wie Düngemitteln oder Pestiziden) sowie für die Entsorgung verwendet wird.

Vulkanexplosionsindex (VEI) (S. 202)
Skala zur Bewertung der Stärke und Intensität von Vulkanausbrüchen. Sie berücksichtigt verschiedene Faktoren, wie z. B. die Menge der ausgestoßenen →Tephra, die Höhe der Aschewolken oder die Dauer des Ausbruchs. Die Skala reicht von 0 bis 8, wobei 8 für die höchste Explosivität steht.

Vulkanismus (S. 200)
Zusammenfassender Begriff für alle Vorgänge und Erscheinungen, die mit Vulkanen zusammenhängen, das heißt mit dem Aufsteigen von Magma aus dem Erdinneren

Vulnerabilität (S. 192)
Empfindlichkeit bzw. Verwundbarkeit von Menschen, Gesellschaften, Infrastrukturen und Sachwerten eines Lebens- und Wirtschaftsraumes

Waldgrenze (S. 165)
Grenzsaum, über den hinaus aufgrund des Gebirgsklimas keine geschlossenen Wälder mehr wachsen

Walker-Zirkulation (S. 36)
in Ost-West-Richtung angeordnete Zirkulationszellen von Luftmassen in Äquatornähe. Die Walker-Zirkulation wird bestimmt durch die unterschiedlich starke Erwärmung der bodennahen Luftschichten über den Kontinenten und den Ozeanen. Eine besonders stark und großräumig ausgeprägte Zirkulationszelle befindet sich über dem westlichen Pazifik zwischen Indonesien und der südamerikanischen Küste. Die Umkehrung der Walker-Zirkulation im Pazifik führt zum Klimaphänomen → El Niño.

Wanderfeldbau (S. 62)
auch: *Shifting Cultivation*. Ursprünglich verbreitete Anbauform in den Tropen, wobei nach einigen Jahren die Felder verlegt werden, da der Boden erschöpft ist und die Erträge zurückgehen

Warmfront (S. 120)
Grenzfläche zwischen warmer und kalter Luft auf der Vorderseite einer →Zyklone. Die Abkühlung der Warmfront bei Kontakt mit der Kaltluft bewirkt Aufgleitniederschläge.

Wasserfußabdruck (S. 134)
Kennzahl für die gesamte Menge an Wasser, die Staaten, Unternehmen oder Konsumenten in Anspruch nehmen. Der Wasserfußabdruck umfasst die gesamte Wassermenge, die entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts von der Produktion bis zur Entsorgung verbraucht wird, und dabei sowohl den direkten als auch den indirekten Wasserverbrauch.

Wasserstress (S. 164)
→Trockenstress

Wechselfeuchte Tropen (S. 56)
Zone nördlich und südlich der →Immerfeuchten Tropen mit jahreszeitlichem Wechsel von →Regen- und →Trockenzeiten. Hier befinden sich die Vegetationszonen der →Savanne.

Wendekreiswüste (S. 77)
Wüstengebiet im Bereich der Wendekreise, dessen Ursache in den absinkenden und sich erwärmenden Luftmassen des → Passatkreislaufes liegt. → subtropischer Hochdruckgürtel

Westwind (S. 24)
großräumige Windströmung von Westen nach Osten, die typisch für die Zone zwischen dem 40. und 60. Breitenkreis (Westwindzone) ist. →planetarische Frontalzone

Wetter (S. 16, 122)
der augenblickliche Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort. Das Wetter wird bestimmt durch das Zusammenwirken von Temperatur, Niederschlag, Bewölkung, Wind, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit.

Wind (S. 16)
Luftströmung zwischen einem Gebiet mit hohem Luftdruck und einem Gebiet mit niedrigem Luftdruck. Je größer der Druckunterschied ist, desto stärker weht der Wind.

Windschliff (S. 164)
äolische, flächenhafte Abtragung durch Wind, der stark genug ist, um Sandkörner zu transportieren

Winterfeuchte Subtropen (S. 124)
auch: Mediterrane Subtropen. Zone der Subtropen, meist an der Westseite der Kontinente. Typisch sind sommerliche Hitze und Trockenheit sowie milde und feuchte Winter (Winterregen).

Witterung (S. 17)
typische Abfolge von Wetterzuständen über mehrere Tage bis Wochen (z. B. von Niederschlag oder Temperatur), welche typisch für eine bestimmte Jahreszeit ist

Wurzelsprengung (S. 162)
Form von biogener →Verwitterung. Zerkleinerung von Gestein durch die Ausdehnung von Pflanzenwurzeln in Gesteinsklüften

Wüste (S. 20, 73, 76)
Vegetationszone mit nur sehr geringem bzw. keinem Pflanzenwuchs, gekennzeichnet durch hohe Temperaturen und geringe Niederschläge

Wüstenrohboden (S. 71)
auch: Skelettboden. Boden im Übergangsbereich zu den Wüsten, bei dem noch kaum bodenbildende Prozesse eingesetzt haben. Organisches Material ist nicht oder nur kaum vorhanden. Es ist lediglich ein dünner Feinboden erkennbar. Außer nach Regenfällen sind die Böden unfruchtbar.

Xerophyt (S. 73)
Pflanze, die an extreme Trockenheit angepasst ist und deshalb in den Wüstenregionen zu finden ist

Zenit (S. 15)
gedachter Punkt am Himmel, der sich senkrecht über dem Beobachtungspunkt an der Erdoberfläche befindet. →subsolarer Punkt

Zenitalregen (S. 22)
heftige Niederschläge in den Tropen, die nach dem Zenitstand (→Zenit) der Sonne fallen. Die stark erwärmte Luft steigt auf, kühlt ab und der in der Luft enthaltene Wasserdampf kondensiert zu großen Wolkentürmen, die schließlich wieder abregnen.

zirkumpazifischer Feuerring (S. 200)
Vulkangürtel, der den Pazifik von drei Seiten umgibt. Ursache für das gehäufte Auftreten von Vulkanen ist das Aufeinandertreffen von Plattengrenzen, wobei eine Platte unter eine andere abtaucht (→Subduktion). Somit kommt es entlang des zirkumpazifischen Feuerrings immer wieder zu zum Teil starken →Erdbeben.

Zungenbeckensee (S. 163)
ein im Bereich von Grund- und →Endmoränen durch →Gletscher entstandener See. Die Moränen wirken dabei wie ein Damm, der die Schmelzwässer des Gletschers zurückhält.

Zyklon (S. 204)
→tropischer Wirbelsturm

Zyklone (S. 25, 26)
Gebiet mit niedrigem Luftdruck (Tiefdruckgebiet), dreht sich aufgrund des →Corioliseffekts auf der Nordhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel im Uhrzeigersinn. An seiner Vorderseite (→Warmfront) gleitet warme auf kalte Luft auf. Dabei kommt es zu langanhaltenden Niederschlägen. Nach dem Warmluftsektor folgt die →Kaltfront. Sie schiebt sich wie eine Schaufel unter die warme Luft, hebt diese nach oben und es kommt zu starken Regenschauern bei gleichzeitiger Abkühlung. Gegensatz: →Antizyklone

Quellenverzeichnis (Literatur)

Seite 21 M5:
International Union for Conservation of Nature (IUCN), 28.11.2018; übersetzt

Seite 30/31 M2:
Interview mit Rixa Schwarz, Referentin für Klima und Sicherheit bei Germanwatch und Programmkoordinatorin „Klimawandel“ am Centre for Environment Education India (Zentrum für Umweltbildung). In: Seydlitz Erdkunde Niedersachsen Einführungsphase, Braunschweig: Westermann, 2018, S. 28/29

S. 35 M5:
Nicolai, Maike: Pressemitteilung zu Forschungsergebnissen des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel, Kiel: Informationsdienst Wissenschaft 02.03.2022: https://idw-online.de/de/news?print=1&id=789337 (Zugriff: 16.06.2023)

S. 37 M6:
Walch, Dieter & Frater, Harald (Hrsg.): Wetter und Klima. Heidelberg: Springer-Verlag 2004, S. 71f.

S. 42 M2:
Interview mit dem Klimaforscher Prof. Dr. Sebastian Sippel von der Universität Leipzig, geführt Juli 2023

S. 44 M1:
Böttinger, Michael, Kasang, Dr. Dieter: Die SSP-Szeanrien. Hamburg: Deutsches Klimarechenzentrum, ohne Datum: https://www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/cmip6-de/die-ssp-szenarien, Zugriff: 27.09.2023

S. 44 QR-Code:
Interview mit dem Klimaforscher Prof. Dr. Sebastian Sippel von der Universität Leipzig, geführt Juli 2023

S. 47 M5:
Folgen des Klimawandels. Berlin: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung 25.09.2023: https://www.bmz.de/de/themen/klimawandel-und-entwicklung/folgen-des-klimawandels-124774 (Zugriff: 27.09.2023)

S. 51 M4:
Schröder, Dr. Bianca: Klima-Geoengineering kann das Pariser Klimaabkommen nicht retten. Potsdam: Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit, Helmholtz-Zentrum Potsdam 13.09.2018: https://www.rifs-potsdam.de/de/news/klima-geoengineering-kann-das-pariser-klimaabkommen-nicht-retten, (Zugriff: 03.08.2023) (leicht verändert)

S. 53 M4:
Wie viel Kohlendioxid (CO_2) speichert der Wald bzw. ein Baum. Hamburg: Stiftung Unternehmen Wald, o. Erscheinungsdatum: https://www.wald.de/waldwissen/wie-viel-kohlendioxid-co2-speichert-der-wald-bzw-ein-baum/#:~:text=Es%20gibt%20die%20Faustformel%2C%20dass,die%20Speicherung%20aber%20sehr%20gering (Zugriff: 11.10.2023)

S. 63 M6:
Brauns, Thorsten & Scholz, Ulrich: Shifting Cultivation – Krebsschaden aller Tropenländer? In: Geographische Rundschau 49 (1997), Braunschweig: Westermann, S. 5f.

S. 68 M2:
Verlust der Biodiversität: Ursachen und folgenschwere Auswirkungen. Berlin: Europäisches Parlament, Straßburg, erstellt am 16.01.2020, aktualisiert am: 09.06.2021: https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20200109STO69929/verlust-der-biodiversitat-ursachen-und-folgenschwere-auswirkungen (Zugriff: 24.08.2023)

S. 84: M3
Mensing, Birte: Streit um Staudamm in Äthiopien. Wem gehört das Nilwasser? Mainz: ZDF heute, Zweites Deutsches Fernsehen, 28.07.2020 (Zugriff: 15.03.2021)

S. 87 M6:
Aussagen anlässlich der Katastrophe Rana Plaza 2013;
Text 1, 3, 5: Kestenholz, Daniel: Diese Näherinnen produzieren Ihr Zehn-Euro-T-Shirt. Berlin: Welt, 13.06.2013: https://www.welt.de/wirtschaft/article117082646/Diese-Naeherinnen-produzieren-Ihr-Zehn-Euro-T-Shirt.html (Zugriff: 06.10.2022)
Text 2, 4: Kulke, Ulli: Bangladesch im Dilemma zwischen Wachstum und Elend. Berlin: Welt, 09.05.2013: https://www.welt.de/debatte/kommentare/article116041584/Bangladesch-im-Dilemma-zwischen-Wachstum-und-Elend.html (Zugriff: 06.10.2022)
Text 6: NETZ – Partnerschaft für Entwicklung und Gerechtigkeit e.V. (o.J.) (Zugriff: 19.04.2017)

S. 89 M7:
15 Alltagstipps: Was du tun kannst, um den Regenwald zu schützen. Hamburg: Abenteuer Regenwald e.V.: 02.11.2022: https://www.abenteuer-regenwald.de/regenwald-retten/alltagstipps (Zugriff: 05.09.2023) (verändert und gekürzt)

S. 89 M8:
WWF Deutschland (Hrsg.) (2016): Auf der Ölspur. Berlin: WWF Deutschland, S. 9.

S. 99 M3:
Eine Buglänge voraus – Islands Fischereimanagement. Bremerhaven: Deutsche See GmbH, ohne Erscheinungsdatum: https://www.deutschesee.de/nachhaltigkeit/meere-aquakultur/islands-nachhaltige-fischerei/ (Zugriff: 17.07.2023)

S. 101 M4:
Köhler, Peter: Neumayer, Pinguine, und Schneeschächte. Bonn: Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V., 11.11.2021: https://blogs.helmholtz.de/eisblog/2021/11/neumayer-pinguine-und-schneeschaechte (Zugriff: 18.07.2023)

S. 101 M5:
Kreiensiek, Helena: Auf der Suche nach dem ältesten Eis und den neuesten Daten. Bremerhaven: Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V., ohne Erscheinungsdatum: https://www.awi.de/expedition/labore/eislabor.html (Zugriff: 18.07.2023)

S. 105 M5:
Holstein, Natascha: Wie ewig ist das „ewige Eis“? München: Goethe-Institut e.V., Dez 2021: https://www.goethe.de/ins/in/de/kul/nhk/22596768.html (Zugriff: 19.07.2023)

S. 105 M6:
Elsner, Harald: Das mineralische Rohstoffpotenzial Grönlands. Hannover: Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), S. 77. Dez. 2010: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-01.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Zugriff: 19.07.2023)

S. 105 M7:
Schlandt, Jakob: Neues Geschäftsmodell dank Klimawandel: Grönland will Schmelzwasser an kommerzielle Unternehmen verkaufen. Berlin: Tagesspiegel, 16.02.2020: https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/gronland-will-schmelzwasser-an-kommerzielle-unternehmen-verkaufen-7304497.html (Zugriff: 19.07.2023)

S. 107 M3:
Mrasek, Volker: Tauwetter in der Tundra. Köln: Deutschlandfunk, 25.02.2007: https://www.deutschlandfunk.de/tauwetter-in-der-tundra-100.html (Zugriff: 19.07.2023)

S. 109 M2, M4:
Der Antarktisvertrag. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 27.12.2021: https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/antarktis/das-antarktisvertragssystem/der-antarktis-vertrag (PDF des Vertrags dort abrufbar) (Zugriff: 11.10.2023)

S. 113 M4:
Astrolabe Island. Buenos Aires: Secretaría del Tratado Antártico Buenos Aires, ohne Erscheinungsdatum: https://www.ats.aq/devAS/Ats/Guideline/FAD5D1B4-B331-4879-A364-BB46AE01111A (Zugriff: 27.09.2023)

S. 113 M5:
Weddellmeer – 8 gute Gründe für ein Meeresschutzgebiet. Bremerhaven: Alfred Wegener Institut, Dez. 2020: https://www.awi.de/fileadmin/user_upload/AWI/Ueber_uns/Service/Presse/2021/1_Quartal/KM_Update_Infomaterial_WSMPA/Factsheet_Weddellmeer_Einzelseiten.pdf (Zugriff: 28.09.2023)

S. 115 M7:
Edelhoff, Fritz: Wie gefährlich sind Kreuzfahrten in der Antarktis? Hannover: Madsack Travel GmbH & Co. KG, Hannover, 02.12.2022: https://www.reisereporter.de/reisenews/destinationen/wie-gefaehrlich-sind-kreuzfahrten-in-der-antarktis-33YK-F6I63HIPE3QTPLXGATZCFC.html (Zugriff: 21.07.2023)

S. 129 M6:
Siebert, Michael: Berichte zur Griechenlandexkursion im April 2019 des Naturwissenschaftlichen Vereins Darmstadt, S. 33-34. Darmstadt: Homers Heimat, Juli 2019: https://homersheimat.de/res/pdf/Exkursionsberichte-Griechenland-2019.pdf (Zugriff: 26.07.2023)

S. 131 M5:
Rohde, Tim: Weltwassertag 2023: 10 Fakten über Wasser. Köln: Deutsches Komitee für UNICEF e.V., 20.03.2023: https://www.unicef.de/informieren/aktuelles/blog/-/weltwassertag-2023-zehn-fakten-ueber-wasser/275338 (Zugriff: 27.09.2023)

S. 137 M4:
Sebald, Christian: Der Winter war viel zu trocken. München: Süddeutsche Zeitung, 27.02.2023: https://www.sueddeutsche.de/bayern/bayern-klimaerwaermung-wetter-winter-grundwasser-trinkwasser-thorsten-glauber-1.5759261 (Zugriff: 27.04.2023) (leicht verändert)

S. 140 M2:
Die Bundesregierung: Aktuelle Infos für Rettungskräfte. Berlin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, ohne Erscheinungsdatum: https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/aktuelle-hochwasserkarten-1943474 (Zugriff: 27.09.2023)

S. 145 M4:
Interview mit Siegmar Wüst, Leiter des Walderlebniszentrums Grafrath im Forstlichen Versuchsgarten. September 2023

S. 147 M4:
Kronenbitter, Max-Joseph: Spitze im Landkreis: Kottgeisering ist Solarpark-City. München: Münchner Merkur, 09.01.2023: https://www.merkur.de/lokales/fuerstenfeldbruck/kottgeisering-ort377145/kottgeisering-ist-solarpark-city-92016771.html (Zugriff: 10.08.2023)

S. 151 M4:
Klimafolgen und Anpassung in der Landwirtschaft. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt. Ohne Erscheinungsdatum: https://www.lfu.bayern.de/klima/klimaanpassung_bayern/landwirtschaft/index.htm (Zugriff: 11.08.2023)

S. 151 M5:
Heldenhafter Einsatz für Biodiversität in Frankfurt. Mainz: sharemen media GmbH, ohne Erscheinungsdatum: https://www.ecowoman.de/nachhaltige-nachrichten/urban-farming-als-mittel-gegen-den-klimawandel-9607 (Zugriff: 11.08.2022)

S. 151 M6:
Fenske, Doris und Huber, Ortrun: Humusaufbau: So wird der Acker zum Kohlenstoffspeicher. München: Bayerischer Rundfunk, 07.09.2023: https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/klima/klima-landwirtschaft-kohlenstoff-humus-100.html (Zugriff: 11.08.2022)

S. 170 M1:
Schlagzeile links:
Klimawandel im Bild: Bayerischer Berg bricht in der Mitte auseinander. Nürnberg: Nürnberger Nachrichten, 15.09.2022: https://www.nordbayern.de/region/klimawandel-im-bild-bayerischer-berg-bricht-in-der-mitte-auseinander-1.12524468 (Zugriff: 28.09.2023)
Schlagzeile Mitte: Klaproth, Franka: Felslawinen drohen: Die Südseite des Hochvogel bricht ab. Berlin: Berliner Zeitung, 21.10.2022: https://www.berliner-zeitung.de/kultur-vergnuegen/klimawandel-allgaeu-berg-gipfel-albtraum-in-den-alpen-die-suedseite-des-hochvogel-bricht-ab-li.278772 (Zugriff: 28.09.2023)
Schlagzeile rechts: Bilher, Mark: Risse im Hochvogel: Wenn ein Berg auseinanderbricht. Augsburg: Augsburger Allgemeine, 22.09.2022: https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/allgaeu-risse-im-hochvogel-wenn-ein-berg-auseinander-bricht-id64024306.html (Zugriff: 28.09.2023)

S. 171 M4:
Interview mit Prof. Dr. Michael Krautblatter, Professor für Hangbewegungen an der TU München. Januar 2023

S. 172 M2:
Reif, Alexander, Dahm, Cornelius: Globale Klimakrise: Aufbruch in die Zukunft: Das Schwinden der Kryosphäre. Germanwatch e. V., Bonn 01/2017, S. 11

183 M4:
Interview mit Prof. Dr. Stefan Applis von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen, September 2023

S. 189 M5:
„Ein Traum ist es nicht wert, zu verunglücken“: Experte warnt vor Gefahren beim Bergsteigen. München: Münchner Merkur, 06.11.2023: https://www.merkur.de/bayern/bayern-bergwacht-experte-warnt-gefahren-bergsteigen-habt-mut-aufzugeben-wandern-91893605.html (Zugriff: 06.07.2023)

S. 195 M5:
Erdbebendienst Bayern der Ludwig-Maximilians-Universität München: Gefahren durch Erdbeben. München: Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften München, 2013: https://www.erdbeben-in-bayern.de/erdbebendienst/erdbebenkunde/gefahren (Zugriff: 28.02.2023)

S. 197 M4:
Scheid, Bernhard: Religion in Japan. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Kultur- und Geistesgeschichte Asiens, 08.10.2010, letzte Änderung 13.01.2023: https://religion-in-japan.univie.ac.at/an/Bauten/Tempel/Pagoden#scite-65330888752100f50cf60366b62d3529 (Zugriff: 22.02.2023)

S. 197 M5:
Deutsche Auslandsvertretungen in Japan: Konsular-Tipps der deutschen Auslandsvertretungen zur Erdbebenvorsorge. Tokio: Deutsche Botschaft Tokyo, ohne Erscheinungsdatum: https://japan.diplo.de/ja-de/service/-/2436680#content_2 (Zugriff: 22.02.2023)

S. 199 M4:
Prof. Dr. Thomas Walter (Geoforschungszentrum Potsdam) im Interview mit Luisa Dafertshofer. In: Seydlitz Geographie Oberstufe. Braunschweig: Westermann 2022, S. 285

S. 203 M4:
Schmid, Christian, Mattiucci, Cristina: Neapel: Die Urbanisierung des Vesuv. Übersetzung aus dem Englischen von Michael Goj. In: Bauwelt 19/2019, S. 38-41. Bauverlag BV GmbH, Berlin: www.bauwelt.de/rubriken/betrifft/Die-Urbanisierung-des-Vesuv-3429486.html (Zugriff: 23.02.2023) (leicht verändert)

S. 205 M3:
Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München: Hurrikane, Taifune und Zyklone: Tropische Wirbelstürme – Die Naturgefahr mit den höchsten versicherten Schäden. München: Munich Re, ohne Erscheinungsdatum: https://www.munichre.com/de/risiken/naturkatastrophen-schaeden-nehmen-tendenziell-zu/hurrikane-taifune-zyklone.html (Zugriff: 23.02.2023)

S. 206 Teaser:
Häusler, Thomas: Aus der Dürre in die Überschwemmung – und wieder zurück. Zürich: Schweizer Radio und Fernsehen, 11.03.2022: https://www.srf.ch/wissen/klimaerwaermung/klimawandel-aus-der-duerre-in-die-ueberschwemmung-und-wieder-zurueck (Zugriff: 24.02.2023)

S. 206 M4:
MEDAIR Projekt in Madagaskar hilft bei Naturkatastrophen. Wiesbaden: MEDAIR e.V., Wiesbaden, ohne Erscheinungsdatum: https://de.medair.org/mdg-fruehwarnsystem (Zugriff: 24.02.2023)

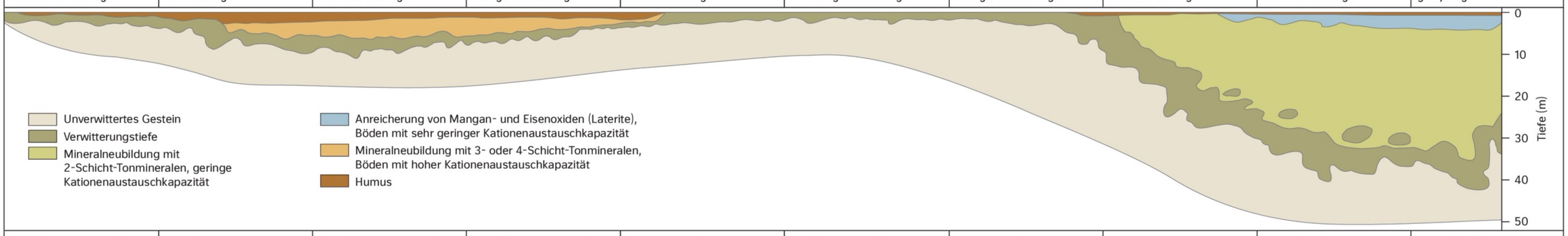
S. 208 M4:
Glawion, Rainer: Geologie lebt! Der Vulkanausbruch auf Island im September 2014. In: Rainer Glawion et. al.: Physische Geographie. Braunschweig: Westermann 2019, S. 122–128

S. 208 M5:
Helgadóttir, Birta Kristín: Die Energiewende Islands. Klimawissen e.V., Berlin, 26.05.2022: https://www.klimareporter.de/energiewende/die-energiewende-islands#:~:text=Island%20hat%20bereits%20eine%20vollst%C3%A4ndige,k%C3%B6nnen%20auch%20andere%20L%C3%A4nder%20profitieren (Zugriff: 24.02.2023) (verändert)

Quellenverzeichnis (Bild)

|123RF.com, Hong Kong: Risto Hunt 162.4. |akg-images GmbH, Berlin: 156.1; arkivi 181.1. |Alamy Stock Photo, Abingdon/Oxfordshire: All Canada Photos 110.2; ARCTIC IMAGES 114.1; Arterra Picture Library 94.2; Ashley Cooper pics 112.2; Boethling, Joerg 8.2, 126.3; BSIP SA 74.1; Carr, Eric 112.1; CHROMORANGE 186.1; Crandall, Rob 174.1; David Gee 4 202.2; David Tipling Photo Library 90.2; Dinodia Photos 134.1; Eastland, Adam 151.2; Ellingvag, Orjan 184.1; GEORGIOS PAGOMENOS 116.2; henrique ferrera 66.1; Hong Hanh Mac Thi 74.2; imageBROKER.com GmbH & Co. KG 6.1, 63.1, 116.1, 118.2; inga spence 126.2; Media Drum World 208.1; NASA Photo 92.2; Nature Picture Library 97.2, 128.1; NordicImages 169.4; RDW Aerial Imaging 64.2; REY Pictures 62.2; robertharding 102.1; Schatz, Peter 180.1; Schmidlehner, Karlheinz 166.1; The Canadian Press 197.3; US Coast Guard Photo 97.1; volkerpreusser 167.1; Zoonar GmbH 178.1; ZUMA Press, Inc. 12.1. |Alamy Stock Photo (RMB), Abingdon/Oxfordshire: aldiami/Alexander, Andreas 237.1; ARCTIC IMAGES 38.1; B.A.E. Inc. 79.1; Boethling, Joerg 86.2; Boulton, Mark 75.2; Doering, Ulrich 55.1; imageBROKER 73.3, 82.1; JJ pixs 80.2; Joerg Boethling 86.1; Kuttig - RF - Travel 143.1; Panther Media GmbH 71.1; Parker, Edward 64.1; Prisma by Dukas Presseagentur GmbH 152.1; Putu Artana 88.2; Skrzypczak, Uwe 23.2; SOPA Images Limited 194.1; Stipek, Karel 20.2; Van Zandbergen, Ariadne 54.1; ZUMA Press, Inc. 67.3. |Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven: 101.1; Saga Svavarsdottir (CC-BY 4.0) 100.1. |Applis, Prof. Dr. Stefan, Fürth: 183.1. |Astrofoto, Sörth: ESA 26.1, 221.1. |Baaske Cartoons, Müllheim: Mester, Gerhard 53.2. |Berghahn, Matthias, Bielefeld: 60.1, 162.1. |Bildarchiv Boden-Landwirtschaft-Umwelt, Creglingen: Prof. Dr. Karl Stahr 61.1, 219.1. |Bridgeman Images, Berlin: 177.1. |Bundesamt für Umwelt BAFU, Ittigen: Permafrostkarte. Bundesamt für Umwelt BAFU, 3003 Bern, Schweiz./ Quellen: PermaNET / Universität Zürich / Google Earth 173.1, 173.2. |Calleri, Paolo, Ulm: 150.1. |CartoonStock.com, Bath: www.cartoonstock.com/Geoff Thompson 34.1. |Colourbox.com, Odense: 73.1. |Department für Nutzpflanzenwissenschaften - Abteilung Bodenphysik, Göttingen: Ahl, Christian 149.4. |Earth at Large.eu, Nieuwe-Tonge: data Eumetsat 120.1, 221.2. |Ecke, Julius, München: 145.2. |EPA Images, Frankfurt am Main: EFE/FRIEDEMANN VOGEL 174.2; EFE/KEYSTONE/JEAN-CHRISTOPHE BOTT 40.1; EFE/MARCELO SAYAO 53.5; SANJEEV GUPTA 28.2. |EPA Images (RF), Frankfurt am Main: EFE/RAIMUNDO VALENTIM 65.2; NTV TV GRAB 111.2. |fotolia.com, New York: 210.3, 261.1; f9photos 163.2; Prudek, Daniel 160.1; sinuswelle 53.6; tauav 169.2; ThKatz 59.1; vitavalka 199.1. |GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel: Modellierung und Visualisierung: Torge Martin/GEOMAR 115.1, 115.3. |Gernandt, Dr. Peter, Abt. Agrarpedologie, Univ. Göttingen, Göttingen: 71.3. |Google Earth: 175.2, 175.3. |Großglockner Hochalpenstraßen AG, Salzburg: 172.1. |Güttler, Peter - Freier Redaktions-Dienst (GEO), Berlin: 57.2, 57.3, 57.4, 111.1, 179.1. |Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Leipzig: 153.1. |HüttenWerke, Klaus Kühner, Hamburg: 25.2. |Imago, Berlin: Future Image/Hardt, Christoph 138.1; imago/Xinhua 83.1. |Imago Editorial, Berlin: Geisser 169.3; Hohlfeld, Volker 48.1; Huebner, Jan 10.1; JOKER 62.1. |iStockphoto.com, Calgary: amoklv 134.3; Carillet, Joel 76.1; Cherundolo, Mandy 121.1; Damkier, Mikael 233.1; DieterMeyrl 185.1; DNY59 88.3; Edelmann, Christian 71.2; edenwithin 14.2; Edwardward 176.1; filmfoto 187.1; Friedhuber, Sepp 94.1; GeorgeBurba 93.2; georgeclerk 11.2; Getty Images/diegograndi 67.4; Hailshadow 28.1; KadnikovValerii 110.1; Kinwun 16.1; kodachrome25 163.5; lcodacci 162.3; luoman 65.3; Paralaxis 5.1, 54.2; pixelfusion3d 31.2; rclassenlayouts 11.3; RyersonClark 106.2; Sander Meertins 7.1, 190.1; sara_winter 76.2; Schwerin, Christiane 22.3; stockphoto52 93.1; sumos 92.1; TebNad 11.4; Tinieder 189.3; Torsakarin 196.1; tttuna 82.2; Tzido 20.3; Videowok_art 124.3; volgariver 124.2; zenzen 144.2; zhao qin 106.3. |Karto-Grafik Heidolph, Dachau: 12.2, 15.1, 17.1, 22.2, 23.1, 25.1, 29.1, 29.2, 41.2, 57.1, 58.1, 58.4, 69.1, 77.1, 80.1, 81.1, 87.2, 89.1, 92.3, 93.3, 99.1, 119.1, 120.2, 121.5, 125.1, 135.1, 143.3, 148.1, 159.2, 163.1, 165.1, 177.3, 195.2, 195.3, 197.2, 213.1, 213.2, 213.3, 213.4, 213.5, 213.6, 213.7, 217.1, 221.3, 223.1, 223.2. |Kartographie Michael Hermes, Hardegsen Hevensen: 41.1, 42.1, 44.1, 49.1, 51.1, 78.1, 87.1, 88.1, 134.2, 134.4, 138.2, 143.2, 149.5, 159.1, 193.1, 193.2, 195.1, 195.4, 195.5, 199.2, 211.6, 231.1. |Keis, Heike, Rödental: 188.1. |Kracke, Burkhard, Hannover: 210.2. |Kuzyakov, Yakov, Göttingen: 70.2. |Luis Murschetz, München: 177.2. |mauritius images GmbH, Mittenwald: Harscher, Reiner 70.1. |Mayer, Marius, München: „Praxis Geographie“ 10/2022 mit dem Titel „Bleibt alles anders? (https://blickinsbuch.westermann.de/61221000/) 172.2. |Mithoff, Stephanie, Egestorf: 43.1, 53.1, 203.1, 259.1. |NASA, Washington: 210.1; Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio The Blue Marble Next Generation data is courtesy of Reto Stockli (NASA/GSFC) and NASA's Earth Observatory 32.2, 32.3. |NASA - Earth Observatory, Washington: 68.1, 68.2, 211.1, 211.2, 211.3, 211.4, 211.5; image by Jesse Allen and Robert Simon, using different data 202.1; NASA Earth Observatory image by Lauren Dauphin, using VIIRS data from NASA EOSDIS LANCE, GIBS/Worldview, and the Suomi National Polar-orbiting Partnership and storm track data from NOAA's International Best Track Archive for Climate Stewardship. 206.1. |NASA - Visible Earth: 3.1, 3.2. |NASA/GSFC Scientific Visualization Studio: 103.1. |Ötztaler Museen, Längenfeld: Lohmann, Alexander Maria 189.2. |Picture-Alliance GmbH, Frankfurt a.M.: AA/Anisimov, Sergey 96.1; Adwa Pictures Plc/Mengistu, Yirga 84.1; AP Photo/pmairs|File|Filed|8/18/2016 12\2 106.1; ASSOCIATED PRESS 200.1, 200.2, 200.3; ASSOCIATED PRESS/ASSOCIATED PRESS 204.1; ASSOCIATED PRESS/Stewart, Fiona/McIntosh, Garett 115.2; Balkis Press/ABACA 79.3; Bildagentur Huber/R. Schmid 6.2, 154.1, 220.1; blickwinkel/A. Hartl 140.1; dieKLEINERT.de/Erl, Martin 65.1, 234.1; dpa-infografik 48.3; dpa/Frey, Thomas 139.1; dpa/Mädler, Florian 171.1, 171.2; dpa/Warmuth, Angelika 179.2; dpa/Weigel, Armin 147.1; PIC ONE/Müller, Stefan 175.4; REUTERS/FAHAD SHADEED 79.2; Xinhua News Agency/Sitraka Rajaonarison 190.2; ZUMAPRESS.com/Hariandi Hafid 198.1. |Schmidt, Marianne, Teningen: 237.3. |Science Photo Library, München: SPL/Edmaier, Bernhard 158.1. |Servicestelle der Bayerischen Vermessungsverwaltung, München: Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, www.bayernatlas.de, Nr. 2308-012073 / Datenquelle Hochwassergefahrenfläche HQ100: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de, 2023 141.1, 141.2. |Shutterstock.com, New York: 1 2 3D illustration 4.1, 8.1, 52.1; 2009fotofriends 118.1; aaddyy 181.2; AleFron 132.1; amadeustx 11.6; Bengochea, Israel Hervas 124.1; Bidouze, Stephane 59.2; brunocoelho 197.1; Cheshier, Bonita R. 58.3; Czekajewski, Maciej 22.1; dolphfyn 88.4; F. JIMENEZ MECA 32.1; FotoKina 204.2; Kondrat, Ekaterina 21.2; MR. KHATAWUT 151.1; Odareeva, Elena 11.5; Oni Abimbola 75.1; Rueger, Christian 170.1; Salparadis 67.2; silverfox999 164.1; Somyot Mali-ngam 121.3; Suloev, Alexey 108.1; Toa55 Titel; Yildirim, Alaetin 86.3; Zaitsev, Vadym 127.1. |stock.adobe.com, Dublin: abriendomundo 36.1; ARochau 146.1, 163.4; Basotxerri 168.2; Carey, Richard 67.1; Cohn, Michael 163.3; Colin 145.1; damedias 21.4; Ede, Hans und Christa 53.3; Elizabeth 20.1; estivillml 175.1; evenfh 73.2; Gestur 98.1; HeinzWaldukat 58.2; hivaka 118.3; Imago Photo 240.1; Khelashvili, David 182.1; Küverling, Heiko 162.2; leungchopan 11.1; Lyzhechka, Orest 48.2; Maffeis, Thierry 121.4; Marcio Isensee e Sá 64.3; marko 149.1; Melnikov, Vladimir 96.2; meryll 149.2; Mikhail, Priakhin 21.1; mojolo 144.1; mpix-foto 189.1; nidafoto 168.1; odjectif 129.1; Olho Do Drone 240.2; Photoerick 169.1; robnaw 104.1; sara_winter 5.2, 90.1; sima 126.1; SimpLine 242.1; Sufail 30.1; totajla 21.3; Trejo, Anibal 14.1; Uwe 121.2; V.R.Murralinath 31.1; Vynikal, Tomas 149.3; Wayne 237.2; Wolfilser 53.4. |Studio Grau GmbH, Berlin: 1.1. |ullstein bild, Berlin: KPA 49.2. |Unser Kraftwerk UK-Naturstrom GmbH, Klagenfurt: Sonnenkraftwerk - Kaiserau, Unser Kraftwerk UK-Naturstrom GmbH 187.2.

Klimazonen	polare/subpolare Zone	boreale Zone	Mittelbreiten (gemäßigte Zone)		Subtropen		Tropen		
							wechselfeucht		immerfeucht
Klima-diagramm	**Barrow** (Alaska, USA) 12 m ü. NHN 71°16'N/156°47'W T = −10,1 °C N = 142 mm	**Kirensk** (Russland) 259 m ü. NHN 57°46'N/108°4'O T = −3,0 °C N = 388 mm	**München** (Deutschland) 447 m ü. NHN 48°21'N/11°48'O T = 9,2 °C N = 752 mm	**Karaganda** (Kasachstan) 553 m ü. NHN 49°48'N/73°9'O T = 3,9 °C N = 378 mm	**Athen** (Griechenland) 107 m ü. NHN 37°58'N/23°43'O T = 18,7 °C N = 433 mm	**Gafsa** (Tunesien) 314 m ü. NHN 34°25'N/8°49'O T = 20,1 °C N = 154 mm	**Tahoua** (Niger) 386 m ü. NHN 14°52'N/5°16'O T = 29,4 °C N = 375 mm	**Bamako** (Mali) 381 m ü. NHN 12°31'N/7°57'W T = 27,8 °C N = 988 mm	**Cotonou** (Benin) 9 m ü. NHN 6°21'N/2°22'O T = 27,8 °C N = 1341 mm	**Kuching** (Malaysia) 27 m ü. NHN 1°28'N/110°48'O T = 26,5 °C N = 4234,6 mm
Vegetations-zonen	**Eiswüste, Tundra** Eiswüste: vegetationslos Tundra: Gräser, Krautpflanzen, Zwergsträucher	**nördlicher (borealer) Nadelwald (Taiga)** Lärchen, Fichten, Moore	**sommergrüner Laub- und Mischwald**	**Steppe** bis übermannshohes Gras	**Hartlaubgehölze** (mediterrane Vegetation)	**Wüste und Halbwüste** vegetationslos oder vereinzelte Zwergsträucher, Gräser	**Savannen** Dornstrauchsavanne kniehohes Gras, Sträucher, vereinzelt Bäume	Trockensavanne brusthohes Gras, Bäume	Feuchtsavanne mannshohes Gras, Baumgruppen, Wälder	**tropischer Regenwald**
Jahreszeiten	**ausgeprägte Jahreszeiten**						**keine Jahreszeiten**			
Jahresdurchschnittstemperatur	über 8 Monate Winter	6–8 Monate Winter	milde Winter warme Sommer	kalte Winter heiße Sommer	deutliche Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter	deutliche Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter				
Niederschlag	unter − 10 °C	− 10 °C bis 0 °C	0 °C bis 12 °C		12 °C bis 24 °C		über 24 °C			
mögliches Wachstum	weniger als 300 mm	weniger als 600 mm	mehr als 600 mm	weniger als 600 mm (in einigen Regionen jedoch auch bis 900 mm)	400–1000 mm, im Sommer trocken, im Winter Niederschlag (Winterregen)	weniger als 250 mm, sehr kurze Regenzeit, oft Dürre	250–500 mm, bis 4 Monate Regenzeit, oft Dürre	500–1000 mm, 4–6 Monate Regenzeit	über 1000 mm, 6–10 Monate Regenzeit	über 1500 mm, ganzjährig feucht
Bodeneigenschaften	Tundra: 30–60 Tage	30–180 Tage	mehr als 180 Tage	weniger als 180 Tage	mehr als 150 Tage	weniger als 60 Tage	weniger als 180 Tage	mehr als 180 Tage	mehr als 300 Tage	ganzjährig
Begrenzung/Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung	Permafrost, geringe pflanzliche Primärproduktion	kurze Vegetationsperiode, eingeschränkte Verfügbarkeit von Nährstoffen	kurze Vegetationsperiode, eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit	kurze Vegetationsperiode, Wassermangel	Wassermangel, eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit	Wassermangel, eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit	Wassermangel	Wassermangel, eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit	eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit	eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit
Anbauprodukte, Viehhaltung	Rentiere (Nomadismus)	häufig Forstwirtschaft	Kältegrenze des Regenfeldbaus: Roggen, Kartoffeln, Mais, Weizen, Rinder, Schweine	Weizen, Zuckerrüben, Sonnenblumen, Schafe, Rinder	Wein, Oliven, Obst, Zitrusfrüchte, Reis, Schafe, Ziegen	Oasenkulturen, Baumwolle, Reis, Kamele, Schafe	Reis, Baumwolle, Schafe, Ziegen, Rinder, Kamele (Nomadismus)	Trockengrenze des Regenfeldbaus: Hirse, Mais, Erdnüsse, Baumwolle, Rinder, Schafe	Maniok, Mais, Erdnüsse, Baumwolle, Rinder	Maniok, Bananen, Kakao, Kaffee, Zuckerrohr



Klimazonen
Klima-diagramm
Vegetations-zonen
Jahreszeiten
Jahresdurchschnittstemperatur
Niederschlag
mögliches Wachstum
Bodeneigenschaften
Begrenzung/Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung
Anbauprodukte, Viehhaltung

16080EX_37

ISBN 978-3-14-**151945**-7

www.westermann.de